

Diseño e implementación de verificadores de tarjetas electrónicas del módulo de billetes de Azkoyen S.A.



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Nombre: Pablo Sánchez Bergasa

Tutor: Jesús María Corres Sanz

Pamplona, fecha de defensa:

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a quienes han hecho posible que escriba estas mismas letras, mis padres. Gracias por darme la vida y ser tan generosos y pacientes conmigo.

Gracias a vosotros también, Manolo Alvarado Medina y Francisco Javier Elcuaz Viscarret, jefes del departamento de Ingeniería de Producción. Pese a estar con mucho trabajo y presión, me habéis dedicado un tiempo esencial (con gran paciencia y plena dedicación) durante mis prácticas en la empresa.

También quiero mencionar a quien no solo despertó mi interés en la electrónica, sino que también añadió un punto de admiración. Muchas gracias a Dr. Eugenio Gubia, quien fue mi profesor en la asignatura de Fundamentos de Electrónica en el segundo curso de Ingeniería en Tecnologías Industriales y quien también me ha atendido amablemente en mis proyectos de electrónica personales.

Agradezco también Ramón, Javier, Pablo y demás amigos por el apoyo (y gran paciencia) durante estos años.

Por último, pero sin ser menos importante (incluso al revés), agradezco a mis catecúmenos de la parroquia Ermitagaña (Carlos, Elena, Uxue, Naiara, Paula, Marta, Carlos, Daniel, Alex, Fermín, Sergio, Xabier, Daniel, Álvaro, Iñaki, Javier y Ángel) por los últimos cuatro años, en los cuales me habéis inspirado, ayudado y brindado una alegría que no podría describir con palabras.

En este proyecto de fin de grado, los esquemas eléctricos, la elección de los relés y los multiplexores/demultiplexores, la soldadura de los componentes, la realización de los prototipos y el diseño de la PCB fueron realizados por Saioa Palacios Beguiristain.

Resumen

El proyecto consiste en el diseño e implementación de dos verificadores de tarjetas electrónicas que se utilizan en el módulo de billetes del producto “Cashlogy POS1000” de la empresa AZKOYEN S.A.

La finalidad de este proyecto es asegurar que la tarjeta de sensores de medida y tarjeta de distribución de señales funcionan correctamente, para ello se ejecutan principalmente dos pruebas: la primera es un test de cortocircuitos del conector/conectores y una segunda para comprobar su funcionalidad.

Para que el uso de los verificadores sea accesible para cualquier persona, independientemente de sus conocimientos, se añadido una pantalla y se ha diseñado y programado una interfaz sencilla e intuitiva pero al mismo tiempo completa.

Los verificadores cuentan con un datalog (almacenamiento de resultados en la tarjeta SD), y la posibilidad de hacer un estudio estadístico sencillo de los errores detectados del orden de fabricación de las tarjetas, además de ajustar la fecha y la hora del mismo e incluso acceder a un menú de ayuda por si el usuario lo necesitara.

Palabras clave

- Datalog: sistema de almacenamiento y carga de información. En nuestro caso almacenaremos la información de cada test que haremos a las tarjetas en una memoria SD de 8Gb.
- Orden de fabricación (O.F.): al realizar un pedido por un cliente, puede que no se tengan en fábrica la cantidad de piezas necesarias para llevarlo a cabo, así que se manda una orden de fabricación de las piezas necesarias para poder completar el pedido.
- LED: del acrónimo inglés Light emitting diode (diodo emisor de luz). Es un componente electrónico que emite luz al circular por el mismo una corriente.
- PWM: del acrónimo inglés Pulse Width Modulation (modulación por ancho de pulsos). Es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo el voltaje de una señal periódica cuadrada.
- PCB: del acrónimo inglés Printed Circuit Board (tarjeta de circuito impreso).

ÍNDICE

Agradecimientos.....	2
Resumen	3
Palabras clave	3
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 La empresa.....	9
1.2 El producto.....	10
1.2.1 Módulo de monedas.....	11
1.2.2 Módulo de billetes.....	11
1.3 Funcionalidad de las tarjetas del proyecto.....	13
1.3.1 Tarjeta de sensores:	13
1.3.2 Tarjeta de distribución:	15
2. Justificación y objetivo	16
2.1 JUSTIFICACION:	16
2.1.1 JUSTIFICACION ACADEMICA	16
2.1.2 JUSTIFICACIÓN EMPRESARIAL	16
2.2 OBJETIVO.....	17
2.3 ESPECIFICACIONES DE LA EMPRESA PARA LOS VERIFICADORES.....	18
3. RECURSOS.....	18
3.1 HARDWARE:.....	18
3.2 SOFTWARE	22
3.2.1 PROGRAMA ARDUINO V 1.6.1.....	22
3.2.2 LIBRERÍAS:.....	22
3.2.3 MODIFICACIÓN DE LIBRERÍAS	22
4. HARDWARE DE LAS TARJETAS A VERIFICAR	24
4.1 TARJETA DE DISTRIBUCIÓN	24
4.1.1 Conectores.....	24
4.1.2 LEDs indicadores.....	25
4.1.3 Batería de condensadores	28
4.2 TARJETA SENSORES.....	28

4.2.1	Conector	28
4.2.2	Sensores emisores	29
4.2.2.1	Etapa de filtrado	30
4.2.2.2	Etapa de memoria	32
4.2.2.3	Etapa de control	32
4.2.3	Sensor receptor	32
4.2.3.1	Circuito de Vref	33
4.2.3.2	Etapa de eliminación de ruido	33
4.2.3.3	Etapa de amplificación	34
4.2.3.4	Etapa de ganancia	34
5.	DISEÑO DEL HARDWARE	35
5.1	TARJETA DE DISTRIBUCIÓN	35
5.1.1	RELÉS.....	35
5.1.2	MULTIPLEXORES/DEMULTIPLEXORES	36
5.1.3	PULL UPS/ PULL DOWNS	39
5.1.4	ESQUEMA ELÉCTRICO DE ARDUINO	40
5.1.5	ESQUEMA DEL CONECTOR DE LA TARJETA DISTRIBUCIÓN	41
5.2	TARJETA DE SENSORES.....	41
5.2.1	PULL UPS/ PULL DOWNS	41
5.2.2	RELÉS.....	42
5.2.3	ESQUEMA ELÉCTRICO DE ARDUINO	43
5.2.4	ESQUEMA DEL CONECTOR DE LA TARJETA DE SENSORES	43
6.	DISEÑO DEL SOFTWARE	44
6.1	DETECCION DE FALLOS DE TARJETA DE DISTRIBUCIÓN.....	44
6.1.1	DETECCIÓN DE CORTOCIRCUITO EN CONECTOR	44
6.1.2	COMPROBACIÓN DE CONEXIÓN ENTRE CONECTORES	44
6.1.3	TEST DE FUNCIONALIDAD	45
6.1.3.1	ENCODER.....	45
6.1.3.2	LEDS.....	46
6.1.3.3	CONDENSADORES	47
6.2	DETECCIÓN DE FALLOS DE TARJETA DE SENSORES	49
6.2.1	DETECCIÓN DE CORTOCIRCUITO EN CONECTOR	49

6.2.2	TEST DE FUNCIONALIDAD.....	60
6.3	DATALOG.....	61
6.3.1	ESTRUCTURACIÓN	61
6.3.2	ESCRITURA DE DATOS.....	63
6.3.3	LECTURA DE DATOS	63
6.3.4	FECHA Y HORA	64
6.3.4.1	AJUSTE FECHA Y HORA	65
6.3.5	ESTADÍSTICAS.....	66
6.4	DIAGRAMAS DE FLUJO DE LOS VERIFICADORES.....	67
6.4.1	PROGRAMA DE INICIO	67
6.4.2	CALIBRACIÓN PANTALLA	68
6.4.3	PÁGINA PRINCIPAL	69
6.4.4	REALIZAR TEST	70
6.4.5	TEST DE CORTOCIRCUITOS DE LOS CONECTORES DE LA TARJETA DISTRIBUCIÓN.....	73
6.4.6	TEST DE CONEXIONES DE LA TARJETA DE DISTRIBUCIÓN	75
6.4.7	TEST DE FUNCIONALIDAD DE LA TARJETA DISTRIBUCIÓN	76
6.4.8	TEST DE CORTOCIRCUITOS DEL CONECTOR DE LA TARJETA SENSORES ..	77
6.4.9	TEST FUNCIONALIDAD TARJETA SENSORES	78
6.4.10	MENU.....	80
7.	CONCLUSIONES.....	81
7.1	Análisis	81
7.2	Aspectos a mejorar del verificador	82
7.3	Experiencia.....	82
8.	Bibliografía y referencias	82
9.	Anexos	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1, producto POS1000 de Azkoyen S.A.	10
Ilustración 2, módulos del módulo de billetes del cashlogy POS1000.....	11
Ilustración 4, tarjetas electrónicas que componen el módulo de billetes	12
Ilustración 5, tarjeta de sensores	13
Ilustración 6, esquema de la lectura de un billete	14
Ilustración 7, voltaje de alimentación de LED azul frente a voltaje de sensor	14
Ilustración 8, medidas de un billete de la tarjeta de sensores superior	15
Ilustración 10, tarjeta distribución cara superior	16
Ilustración 11, tarjeta distribución cara inferior	16
Ilustración 12, arduino mega 2560.....	19
Ilustración 13, vista superior de la pantalla TFT táctil de 3.6 pulgadas	19
Ilustración 14, vista inferior de la pantalla TFT táctil de 3.6 pulgadas	20
Ilustración 15, vista superior e inferior del módulo RTC de arduino	20
Ilustración 16, tarjeta micro SD de 8Gb	21
Ilustración 17, relé de 12V.....	21
Ilustración 18, transistor npn	21
Ilustración 19, resistencia eléctrica	22
Ilustración 20, multiplexor/demultiplexor	22
Ilustración 21, conectores de la tarjeta de distribución.....	25
Ilustración 22, LED de estado stacker de la tarjeta de distribución	26
Ilustración 23, LED de estado módulo entrada de la tarjeta distribución	26
Ilustración 24, LED de estado del tarjeta transporte de la tarjeta distribución.....	27
Ilustración 25, sensor encoder motor m. entrada. de la tarjeta distribución.....	27
Ilustración 26, batería de condensadores de la tarjeta distribución	28
Ilustración 27, conector de la tarjeta sensores	29
Ilustración 28, esquema eléctrico de las etapas de los LEDs de la tarjeta sensores.....	30
Ilustración 29, simulación con LTspice del doble filtro paso bajo de la etapa de filtrado del circuito de los LEDs de la tarjeta sensores (línea continua)	31
Ilustración 30, etapa de memoria del circuito de los LEDs de la tarjeta sensores.....	32
Ilustración 31, etapa de control del circuito de los LEDs de la tarjeta sensores.....	32
Ilustración 32, circuito del sensor receptor de la tarjeta sensores	33
Ilustración 33, circuito seguidor de voltaje de la tarjeta sensores	33

Ilustración 34, etapa de reducción de ruido del circuito del sensor de la tarjeta sensores.....	34
Ilustración 35, etapa de amplificación del circuito del sensor de la tarjeta sensores ...	34
Ilustración 36, etapa de ganancia del circuito del sensor de la tarjeta sensores	35
Ilustración 37, esquema eléctrico de los relés del verificador de la tarjeta distribución	36
Ilustración 38, diagrama de la distribución de los multiplexores del verificador de la tarjeta distribución	37
Ilustración 39, esquemas eléctricos de los multiplexores/demultiplexores del verificador de la tarjeta distribución	39
Ilustración 40, esquema eléctrico del pullup colocado en el módulo RTC del verificador de la tarjeta distribución	40
Ilustración 41, esquema eléctrico de los pines de arduino del verificador de tarjeta distribución.....	40
Ilustración 42, esquema conectores del verificador de la tarjeta distribución.....	41
Ilustración 43, esquema eléctrico del pullup colocado en el módulo RTC del verificador de la tarjeta sensores	41
Ilustración 44, esquema eléctrico de los relés del verificador de la tarjeta sensores ...	42
Ilustración 45, esquema eléctrico de los pines de arduino del verificador de tarjeta sensores.....	43
Ilustración 46, esquema del conector del verificador de la tarjeta sensores	43
Ilustración 47, detección de cortocircuito en conector	44
Ilustración 48, comprobación de conexión entre pines de la tarjeta de distribución ...	45
Ilustración 49, comprobación del funcionamiento del encoder de la tarjeta distribución	46
Ilustración 50, comprobación del funcionamiento de los LEDs indicadores de la tarjeta distribución	47
Ilustración 51, comprobación de la batería de condensadores de la tarjeta distribución	48
Ilustración 52, simulación en LTspice de la descarga de los 5 condensadores (línea roja) y de los 4 condensadores (línea azul) de la tarjeta de distribución	49
Ilustración 53, conector del verificador de tarjetas sensores antes de realizar test	50
Ilustración 54, comprobación de conexión de tierra en la tarjeta distribución.....	51
Ilustración 55, comprobación de cortocircuitos en pin 1.....	52
Ilustración 56, comprobación de cortocircuito en pin 2	53
Ilustración 57, comprobación de cortocircuito en pin 11	54
Ilustración 58, comprobación de cortocircuito en pin 16	55
Ilustración 59, alimentación del conector de la tarjeta sensores con relé activado	56
Ilustración 60, comprobación de cortocircuito en pin 14	57
Ilustración 61, comprobaciones de cortocircuito en pines 4,5 y 12	58
Ilustración 62, comprobaciones de cortocircuito en pines 8 y 9	59

Ilustración 63, test de cortocircuitos superado.....	60
Ilustración 64, test de iluminación de LED de tarjeta sensores	60
Ilustración 65, archivos creados por el O.F. "1310000"	63
Ilustración 66, selección de un O.F. existente.....	63
Ilustración 67, lectura de los datos del O.F. seleccionado	64
Ilustración 68, página de ajuste de fecha y hora.....	65
Ilustración 69, realización de ajuste de fecha y hora	66
Ilustración 70, pantalla de estadísticas del O.F. actual	66
Ilustración 71, diagrama de flujo de inicio de programa	68
Ilustración 72, comprobación del funcionamiento de la pantalla táctil	69
Ilustración 73, página principal de los verificadores	69
Ilustración 74, diagrama de flujo del test de los verificadores	70
Ilustración 75, página de resultados del test de los verificadores	71
Ilustración 76, página de resultados del test del verificador de tarjeta sensores	72
Ilustración 77, diagrama de flujo del test de los verificadores	73
Ilustración 78, diagrama de flujo del test de tarjeta distribución	75
Ilustración 79, diagrama de flujo del test de conexiones de tarjeta distribución.....	76
Ilustración 80, diagrama de flujo del test de funcionalidad de la tarjeta distribución ..	77
Ilustración 81, diagrama de flujo del test de conexiones de la tarjeta sensores	78
Ilustración 82, diagrama de flujo del test de funcionalidad de la tarjeta sensores	79
Ilustración 83, menú de los verificadores	80
Ilustración 84, diagrama de flujo del menú de los verificadores	81

1. INTRODUCCIÓN

A continuación se expondrá brevemente el contexto del trabajo fin de grado, justificando el por qué se del mismo y qué beneficio obtiene la empresa.

1.1 La empresa

AZKOYEN S.A., multinacional conocida como la empresa especializada en el diseño, fabricación y comercialización de máquinas expendedoras, además también trabaja en tecnologías para medios de pago y sistemas de seguridad y control de accesos.

El proyecto esta concretamente dirigido a la sección de AZKOYEN S.A., lugar donde se han realizado las prácticas. Actualmente, esta sección fabrica los medios de

pago, que vende por separado aunque también los utiliza para su último proyecto, “Cashlogy POS1000”. Ofrecen soluciones para cuatro sectores claves que son: Recreativo, Vending, Automatización de servicios y Retail.

1.2 El producto

Como antes se ha pronunciado, AZKOYEN MEDIOS DE PAGO se encuentra desde hace más de 3 años trabajando en el producto CASHLOGY POS1000.

Cashlogy POS1000 es un dispositivo que permite una gestión sencilla y eficiente del efectivo, aportando fiabilidad y seguridad en todas las transacciones relacionadas con el manejo de dinero en efectivo.



Ilustración 1, producto POS1000 de Azkoyen S.A. (módulo de monedas a la Izq., y de billetes a la Dcha.)

Cashlogy POS1000 es un dispositivo que permite la inserción de efectivo tanto en forma de monedas como de billetes, e introduce el concepto de “recirculación” del efectivo. Esto implica el almacenamiento temporal de todas las monedas insertadas y de parte de los billetes, con el fin de utilizarlos para posteriores devoluciones.

Cashlogy POS1000 está compuesto por un módulo de monedas y otro de billetes. Ambos módulos pueden trabajar de manera independiente según la especificación del cliente.

1.2.1 Módulo de monedas

Este módulo de monedas se compone a la vez de diferentes pequeños módulos como por ejemplo módulos de validación, guiamonedas, Hopper, depósito...

El módulo que realmente nos interesa para contextualizar el proyecto fin de grado es el de billetes que a continuación se detallará.

1.2.2 Módulo de billetes

El módulo de billetes se compone de cuatro importantes módulos que son: módulo de recicladores (lugar donde se guardan los billetes de 5, 10 y 20 euros y pueden ser utilizados nuevamente para la devolución del cambio en una compra), módulo stacker (donde se almacenan billetes cuando el reciclador está lleno y billetes de 50 euros o superiores), módulo de transporte (es el módulo que se encarga de transportar tales billetes a su correspondiente reciclador o al stacker), módulo de lectura y validación (es el módulo encargado de leer el billete que se introduce y decidir si se rechaza o se valida y en el caso de validar, lo manda donde tenga que dirigirse)

En la siguiente figura se muestra la distribución de cada módulo en el módulo de billetes.

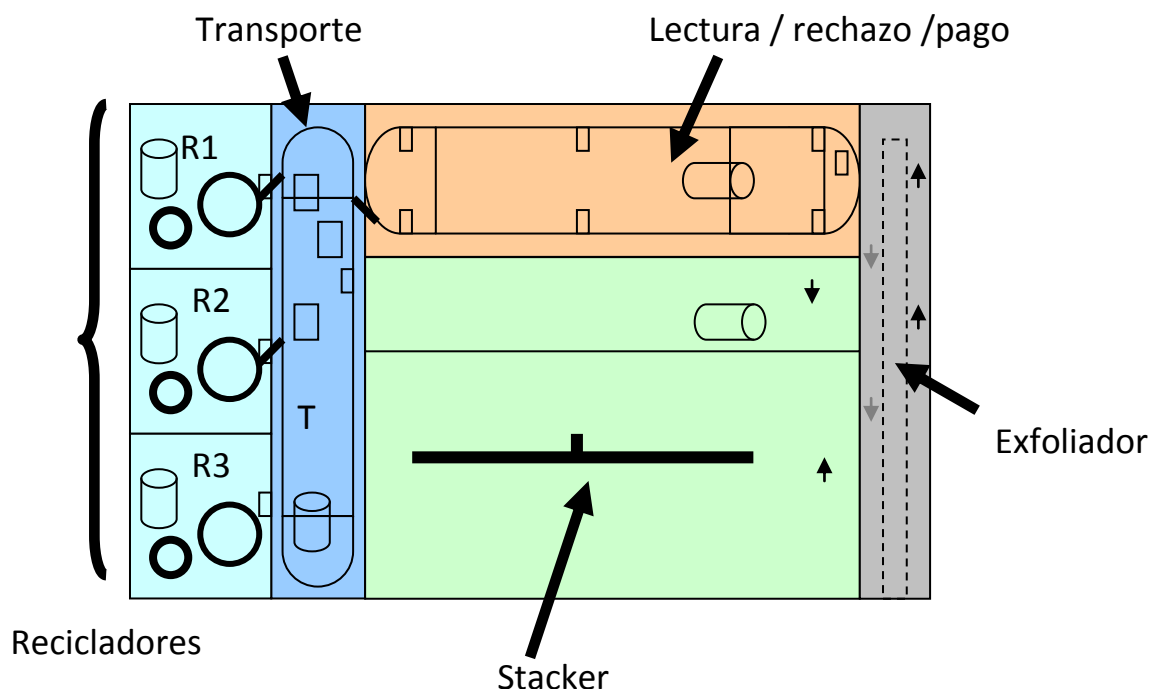


Ilustración 2, módulos del módulo de billetes del cashlogy POS1000

A continuación se muestra la distribución de las tarjetas electrónicas que contiene el módulo de billetes, entre ellas, las tarjetas del proyecto (en el módulo de admisión: sensores medida y tarjeta distribución señales).

DISTRIBUCION DE TARJETAS ELECTRONICAS EN MODULO BILLETES CASHLOGY+

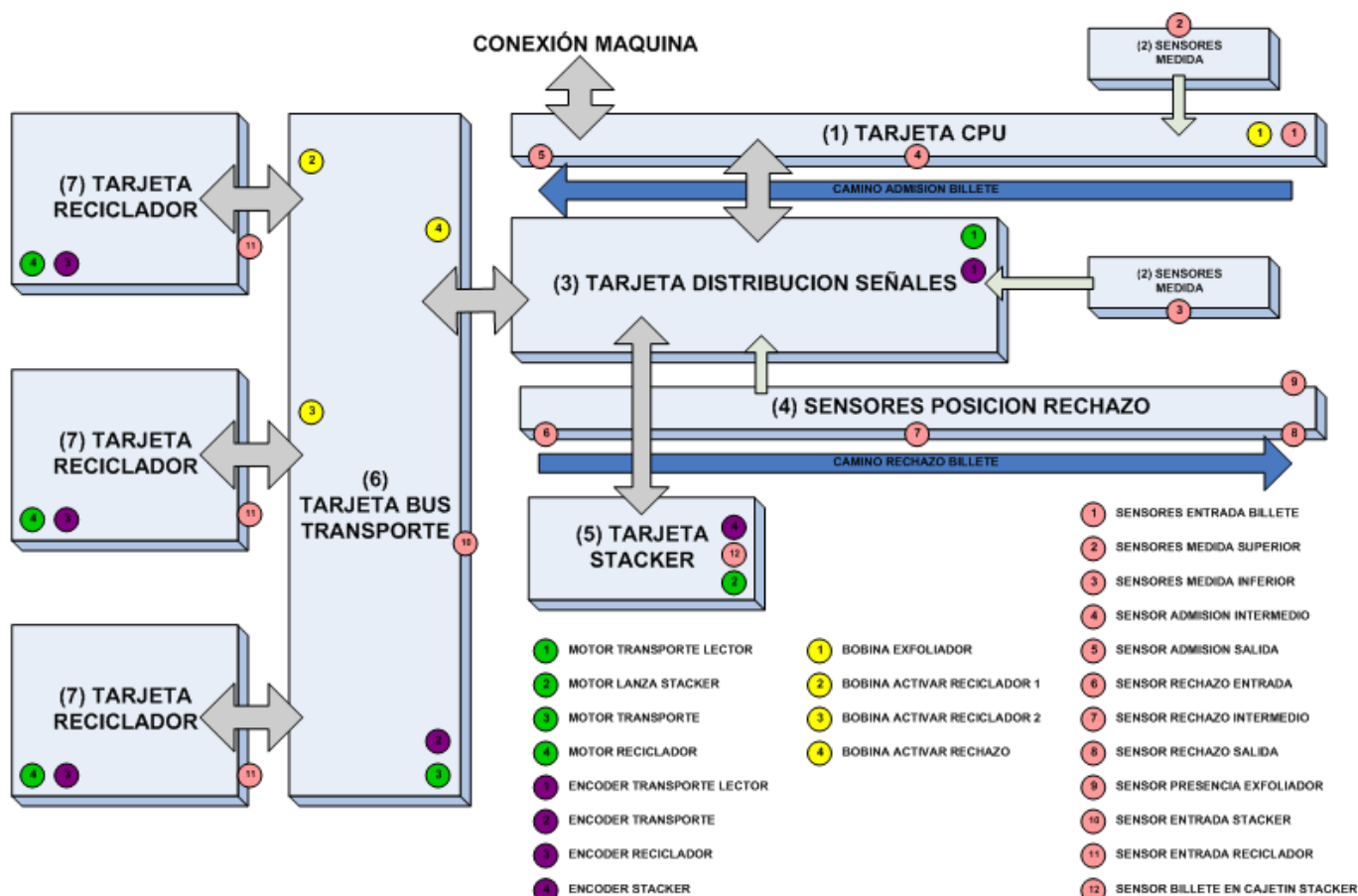


Ilustración 3, tarjetas electrónicas que componen el módulo de billetes

Como se contempla, en el esquema el modulo de billetes dispone de 10 tarjetas de las cuales algunas de ellas se repiten ya que realizan la misma función en los diferentes módulos del producto o, en el caso de nuestro verificador, se necesitan dos tarjetas iguales en distintos lugares para complementarse una a la otra como posteriormente explicaremos.

Los verificadores que se van a diseñar en el proyecto, son verificadores de dos de las tarjetas que se encuentran en el módulo de lectura y admisión. En este módulo además de estas tarjetas (tarjeta sensores de medida y tarjeta distribución de señales) también dispone de la tarjeta CPU y la tarjeta sensores posición rechazo. Más adelante

trataremos de hablar de esta última tarjeta mencionada ya que se ha utilizado para el prototipo del verificador.

La tarjeta distribución de señales se encuentra en uno de los laterales de este módulo. Como se observa, esta tarjeta se comunica con casi todas las tarjetas de este módulo directa o indirectamente. Sin embargo la tarjeta de sensores de medida se coloca en dos sitios distintos, por encima de la CPU y la otra justamente debajo de esta, la razón de este detalle se describirá más adelante.

1.3 Funcionalidad de las tarjetas del proyecto

1.3.1 Tarjeta de sensores:

La tarjeta de sensores del módulo de admisión de billetes tiene como objetivo identificar el billete y, por supuesto, distinguir si es verdadero o falso. Para ello la tarjeta dispone de cuatro LEDs (rojo, azul, infrarrojo 1 e infrarrojo 2) para invadir el billete y un sensor de luz entre otros componentes que luego se describirán con detalle.

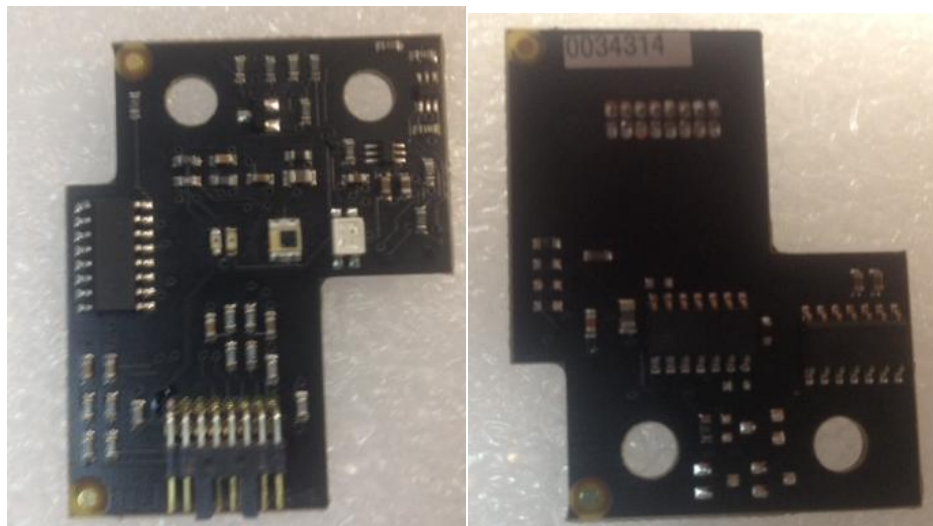


Ilustración 4, tarjeta de sensores

Para realizar la comprobación se dispone de dos tarjetas de sensores y dos prismas, los cuales expanden y contraen la luz emitida por los LEDs y están distribuidos de la siguiente manera:

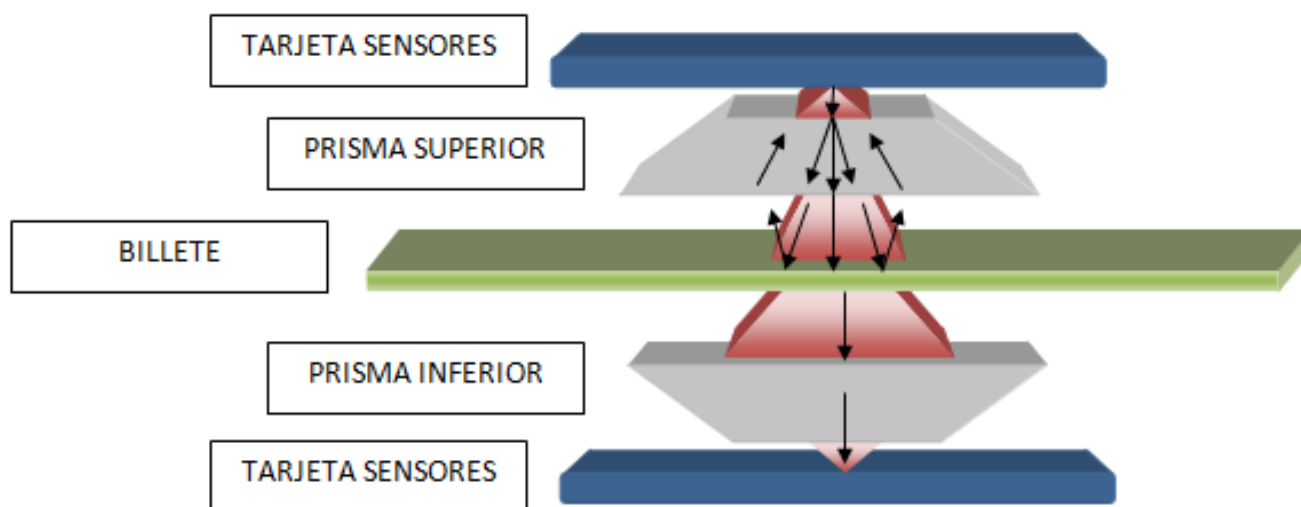


Ilustración 5, esquema de la lectura de un billete

El sensor superior emite una luz a través de los LEDs con diferentes longitudes de onda, el prisma superior dispersa esa luz y choca en el billete. Gran cantidad de luz se refleja en el billete y vuelve a la tarjeta superior pero parte de esa luz atraviesa el billete, se concentra en el prisma inferior y finalmente llega hasta la tarjeta de sensores inferior.

En la siguiente figura se muestra el voltaje de alimentación del LED azul frente al voltaje medido en el sensor de la tarjeta (reflejando la luz en papel blanco uniforme y con ganancia unidad).

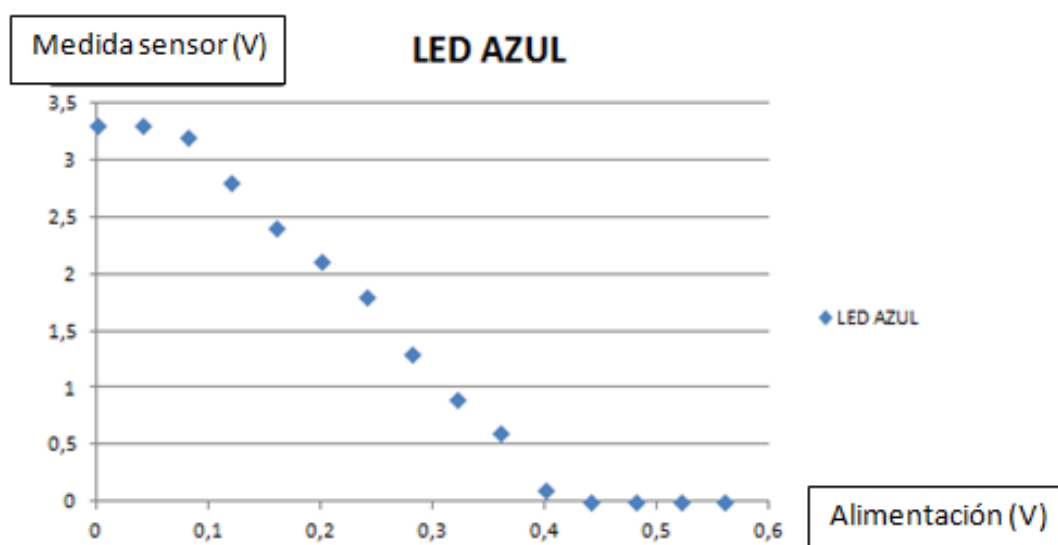


Ilustración 6, voltaje de alimentación de LED azul frente a voltaje de sensor

Una vez barrido el billete se obtiene una señal que se envía a la CPU del conjunto y se decide si se acepta o no el billete siguiendo unos modelos. Por ejemplo, si se introduce un billete de 50 euros por una cara determinada se obtiene en los sensores una medida como la siguiente:

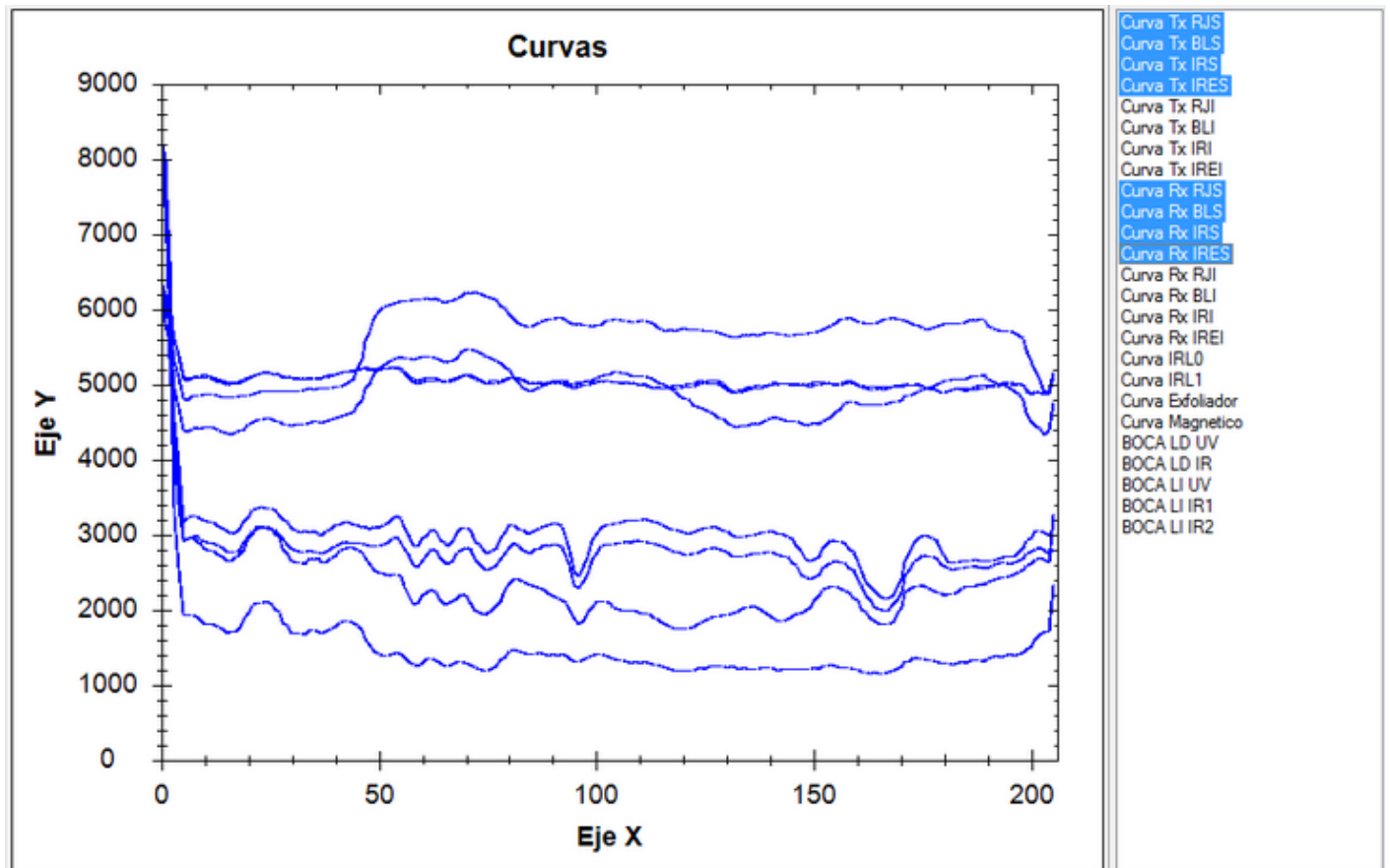


Ilustración 7, medidas de un billete de la tarjeta de sensores superior

Estas señales se mandan a la CPU, que las contrastará con las medidas teóricas y comprobará de qué billete se trata y si es falso o no. Si se identifica el billete y es verdadero entonces se admitirá y se conducirá al reciclador en el caso de que haya espacio y el billete tenga valor de 5,10 o 20 euros o al stacker en caso de que sea un billete de 50 euros o superior. En caso de que sea falso o no se haya identificado el valor del mismo se devolverá al usuario.

1.3.2 Tarjeta de distribución:

Esta tarjeta electrónica principalmente sirve como interfaz entre la tarjeta transporte y la tarjeta sensores rechazo.



Ilustración 8, tarjeta distribución cara superior



Ilustración 9, tarjeta distribución cara inferior

La tarjeta distribución también contiene un encoder, un conjunto de condensadores para proporcionar corriente cuando hay alta demanda de la misma y varios LEDs indicadores de estado para el usuario (rojos cuando hay error y verdes cuando el funcionamiento es correcto).

2. Justificación y objetivo

2.1 JUSTIFICACION:

2.1.1 JUSTIFICACION ACADEMICA

Este proyecto tiene la finalidad completar el Grado en Ingeniería Industrial.

2.1.2 JUSTIFICACIÓN EMPRESARIAL

En el producto “Cashlogy POS1000” de AZKOYEN, está formado por una gran cantidad de tarjetas electrónicas. Algunas de esas tarjetas electrónicas se montan en

los módulos sin comprobar su buen funcionamiento (un alto porcentaje de las tarjetas tienen fallos de fabricación, alrededor del 10%), por lo que en las etapas de verificación de los módulos de admisión que hemos explicado antes, muchos dan errores y hay que perder gran cantidad de tiempo en repararlos y, por lo tanto, dinero.

Sabiendo que al año se producen 1500 módulos de billetes, que las tres tarjetas tienen alrededor de un 10% de error, y que los tiempos de reparación de la tarjeta de distribución y las tarjetas de sensores son 8,30 y 160 minutos (una tarjeta de sensores cuesta más cambiar que la otra porque están situadas en distintas partes del módulo):

$$\text{tiempo de reparación} = 1500 * \frac{(0.1*8+0.1*30+0.1*160)}{60} * \frac{10}{9} = 550 \text{ horas/año}$$

El factor de $\frac{10}{9}$ se debe a que cuando se reparan las tarjetas del módulo de billetes, existe un 10% de probabilidades de que se repare con una tarjeta defectuosa.

Otros factores que afectan son que las tarjetas defectuosas pueden provocar daños en otras tarjetas y estropearlas, aumentando el tiempo de reparación y por lo tanto, el tiempo perdido en arreglar las tarjetas.

Si realizamos verificadores para estas tarjetas, invertiríamos solamente 12,5 horas al año (suponiendo un tiempo de verificación por tarjeta de 10 segundos) en comprobar que las tarjetas son buenas y así prevenimos problemas de daños en tarjetas contiguas del módulo de billetes.

2.2 OBJETIVO

1. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un verificador que compruebe el buen funcionamiento de las tarjetas, invirtiendo el menor tiempo posible aunque con la máxima eficacia.
2. Desarrollar un datalog para el seguimiento de los resultados de las tarjetas electrónicas. Los errores se escribirán en un documento de texto y los resultados de las tarjetas que pasen la verificación se guardarán en un Excel para poder analizarlos con mayor facilidad.
3. Desarrollar una interfaz de fácil manejo para cualquier persona, independientemente de los conocimientos que tenga sobre la tarjeta electrónica.
4. Elaborar un sencillo análisis estadístico de los errores de fabricación de las tarjetas, para que se informe de los mismos al departamento que las fabrica y así poder corregir los fallos.

2.3 ESPECIFICACIONES DE LA EMPRESA PARA LOS VERIFICADORES

Para realizar los verificadores, la empresa ha proporcionado las siguientes condiciones para comprobar el buen funcionamiento de la tarjeta distribución y sensores.

- Comprobar que no existe cortocircuito en los conectores y que los pines de alimentación de las tarjetas se encuentran bien soldados
- Comprobar en la tarjeta distribución la función de interfaz entre las tarjetas contiguas.
- Comprobar la funcionalidad de ambas tarjetas (LEDs, encoders...).

3. RECURSOS

Para realizar este verificador, nos hemos guiado sobre todo por tres factores:

1. Comodidad para el uso y sencillez: debe de ser un verificador que pueda ser utilizado por cualquiera, así que será intuitivo.
2. Portabilidad: el verificador puede ser utilizado en varios sectores de la fábrica (fabricación, calidad, producción...) así que debe ser un verificador pequeño y fácil de llevar de un lado a otro.
3. Costo: no merece la pena gastarse miles de euros en verificadores de tarjetas electrónicas cuando cuesta menos repararlas, así que debe ser un verificador barato, aunque sin perder de vista la robustez.

Por estas razones descartamos un verificador con ordenador y nos decantamos por un verificador basado en arduino (barato, sencillo y portable).

Los recursos utilizados en este proyecto se pueden dividir en dos grupos:

3.1 HARDWARE:

- **ARDUINO MEGA 2560:** placa con microcontrolador basado en el ATmega2560, con 54 pines digitales I/O (15 de los cuales con salidas de PWM), 16 pines analógicos, cristal oscilador de 16MHz... Puede ser alimentado a través de una entrada USB (por donde también es programado) o por el jack de alimentación (7-12 voltios de entrada, aunque posee un regulador que disminuye ese voltaje a 5 voltios). Los pines digitales definidos como salidas pueden proporcionar 0 voltios (0 lógico) o 5 voltios (1 lógico). La corriente de salida que puede suministrar o absorber es de 40 mA.



Ilustración 10, arduino mega 2560

- PANTALLA TFT TÁCTIL 3.6 PULGADAS CON CONTROLADOR ILI9327 Y RANURA TARJETA SD (MODIFICADA): pantalla para mostrar mensajes al usuario. Utiliza 37 pines de interfaz. La pantalla ha sido modificada para el uso de la tarjeta SD, ya que un array de resistencias de la PCB tiene un valor excesivamente alto (el array RP4, de 10K ohmios ha sido reemplazada por otro array de 1K).

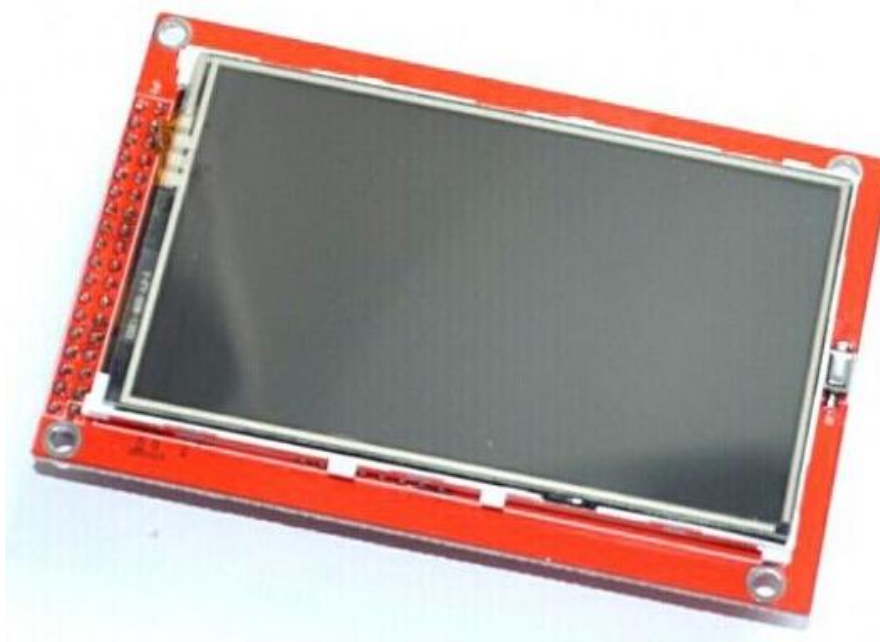


Ilustración 11, vista superior de la pantalla TFT táctil de 3.6 pulgadas



Ilustración 12, vista inferior de la pantalla TFT táctil de 3.6 pulgadas

- **MÓDULO RELOJ EN TIEMPO REAL (RTC):** módulo para guardar en todo momento la fecha y la hora (se utilizará para guardarla en el datalog). Ya que debe de funcionar de forma autónoma, incluye una pila de 3.6 voltios para estar alimentado en caso de que esté apagado el verificador.



Ilustración 13, vista superior e inferior del módulo RTC de arduino

- **TARJETA SD:** memoria externa para cargar y descargar los datos que obtenemos de la tarjeta. Utilizaremos una tarjeta de 8Gb



Ilustración 14, tarjeta micro SD de 8Gb

- **RELÉS:** dispositivo para alternar alta/baja impedancia en la alimentación de las tarjetas a verificar con el objetivo de proteger las mismas ante cortocircuitos. El relé es de 12 voltios.



Ilustración 15, relé de 12V

- **TRANSISTOR:** componente para activar el relé. En definitiva, un relé necesita una corriente para activarse que el arduino es incapaz de suministrar, así que utilizaremos este componente para proporcionarla.

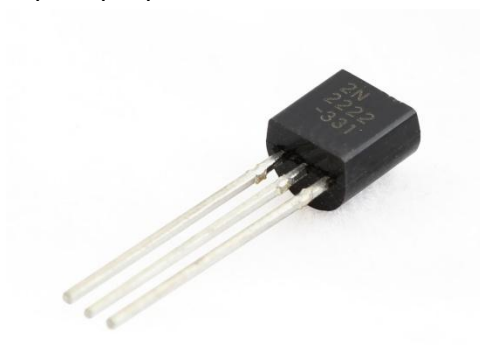


Ilustración 16, transistor npn

- **RESISTENCIA ELÉCTRICA:** componente que utilizaremos para:
 - Limitar corriente del transistor de activación del relé.
 - Pull up y pull down: para elevar o disminuir el voltaje de un determinado pin, así como para referenciar alguno de los pines que están al aire.



Ilustración 17, resistencia eléctrica

- **MULTIPLEXOR/DEMULTIPLEXOR:** componente electrónico que selecciona por el pin de salida, mediante unas señales de control, uno de los pines de entrada. Hemos utilizado unos multiplexores/demultiplexores de tipo “switch”, cuya función es simplemente cerrar el circuito de la señal que se haya elegido.



Ilustración 18, multiplexor/demultiplexor

3.2 SOFTWARE

3.2.1 PROGRAMA ARDUINO V 1.6.1

Para poder programar los verificadores.

3.2.2 LIBRERÍAS:

1. **SPI Y SD:** Para la carga y descarga de datos de la tarjeta SD.
2. **UTFT (MODIFICADA):** Para poder mostrar mensajes en la pantalla.
3. **Utouch (MODIFICADA):** Para la función táctil de la pantalla.
4. **UTFT_Geometry:** Para dibujar figuras en la pantalla.
5. **Wire y RTCLib:** Para el módulo de reloj.
6. **Memorysaver (MODIFICADA):** Para ahorrar espacio de información de los controladores de la librería UTFT (solo sube información del controlador de la pantalla que utilizamos).

3.2.3 MODIFICACIÓN DE LIBRERÍAS

Para el correcto uso de las librerías, fueron necesarias dos modificaciones:

1. **UTFT:** en un principio, fue utilizada una pantalla TFT de 3.5 pulgadas con un controlador CTE32HR, que tenía invertidos los colores. Al cambiar a

la pantalla TFT 3.6 pulgadas táctil, con el controlador ILI9327, los colores estaban invertidos y para ahorrar en tiempo, decidí modificar los colores en la librería:

```
void UTFT::setColor(byte r, byte g, byte b)
{
    if(display_model==ILI9327){
        r=255-r;
        g=255-g;
        b=255-b;
    }
    fch=((r&248)|g>>5);
    fcl=((g&28)<<3|b>>3);
}
```

Si al llamar a la función “setColor” (ajustar color), el controlador es el ILI9327, los colores se invierten restando la variable a 255 (máximo valor para la variable ya que es un byte).

2. **Utouch:** Para no tener que calibrar la pantalla cada vez que encendemos el verificador, hemos calibrado manualmente la pantalla y ajustado los valores de calibración en la librería:

```
#define CAL_X 0x00280EDBUL
#define CAL_Y 0x00708D59UL
#define CAL_S 0x8018F0EFUL
```

Siendo CAL_X,CAL_Y,CAL_S los parámetros de calibración de la pantalla TFT táctil 3.6 pulgadas.

3. **Memorysaver:** la librería UTFT incluye alrededor de 30 controladores para diferentes pantallas. Para ahorrar memoria flash incluimos solamente los controladores que necesitamos (el controlador ILI9327 para la pantalla TFT táctil 3.6 pulgadas y el controlador CTE32HR para la pantalla TFT 3.5 pulgadas, que fue usado anteriormente).


```

// UTFT Memory Saver
// -----
// Since most people have only one or possibly two different display modules a lot
// of memory has been wasted to keep support for many unneeded controller chips.
// You now have the option to remove this unneeded code from the library with
// this file.
// By disabling the controllers you don't need you can reduce the memory footprint
// of the library by several kb.
//
// Uncomment the lines for the displaycontrollers that you don't use to save
// some flash memory by not including the init code for that particular
// controller.

#define DISABLE_CPLD 1 // EHOUSE50CPLD

#define DISABLE_HX8340B_8 1 // ITDB22 8bit mode
#define DISABLE_HX8340B_S 1 // ITDB22 Serial mode
#define DISABLE_HX8347A 1 // ITDB32
#define DISABLE_HX8352A 1 // ITDB32WD / TFT01_32WD / CTE32W
#define DISABLE_HX8353C 1 // DMTFT18101

#define DISABLE_ILI9325C 1 // ITDB24
#define DISABLE_ILI9325D 1 // ITDB24D / ITDB24DWOT / ITDB28 / T
// disable both 8bit and 16bit mode for this controller
#define DISABLE_ILI9325D_ALT 1 // CTE28
// #define DISABLE_ILI9327 1 // ITDB32WC / TFT01_32W
#define DISABLE_ILI9341_S4P 1 // MI0283QT9
#define DISABLE_ILI9341_S5P 1 // TFT01_22SP / TFT01_24SP / TFT22SH
// #define DISABLE_ILI9481 1 // CTE32HR
#define DISABLE_ILI9486 1 // CTE40

#define DISABLE_PCF8833 1 // LPH9135
#define DISABLE_R61581 1 // CTE35IPS

#define DISABLE_S1D19122 1 // ITDB25H
#define DISABLE_S6D0164 1 // CTE22 / DMTFT22102
#define DISABLE_S6D1121 1 // ITDB24E - This single define
#define DISABLE_SSD1289 1 // ITDB32S / TFT01_32 / ELEE32_REVA
// latched mode for this controller
#define DISABLE_SSD1963_480 1 // ITDB43 / TFT01_43
#define DISABLE_SSD1963_800 1 // ITDB50 / TFT01_50 / CTE50 / EHOUSE
#define DISABLE_SSD1963_800_ALT 1 // TFT01_70 / CTE70 / EHOUSE70
#define DISABLE_ST7735 1 // ITDB18SP
#define DISABLE_ST7735_ALT 1 // TFT01_18SHLD
#define DISABLE_ST7735S 1 // TFT01_18SP

```

4. HARDWARE DE LAS TARJETAS A VERIFICAR

A continuación se expone detalladamente las partes por las que están formadas la tarjeta de distribución y la tarjeta de sensores.

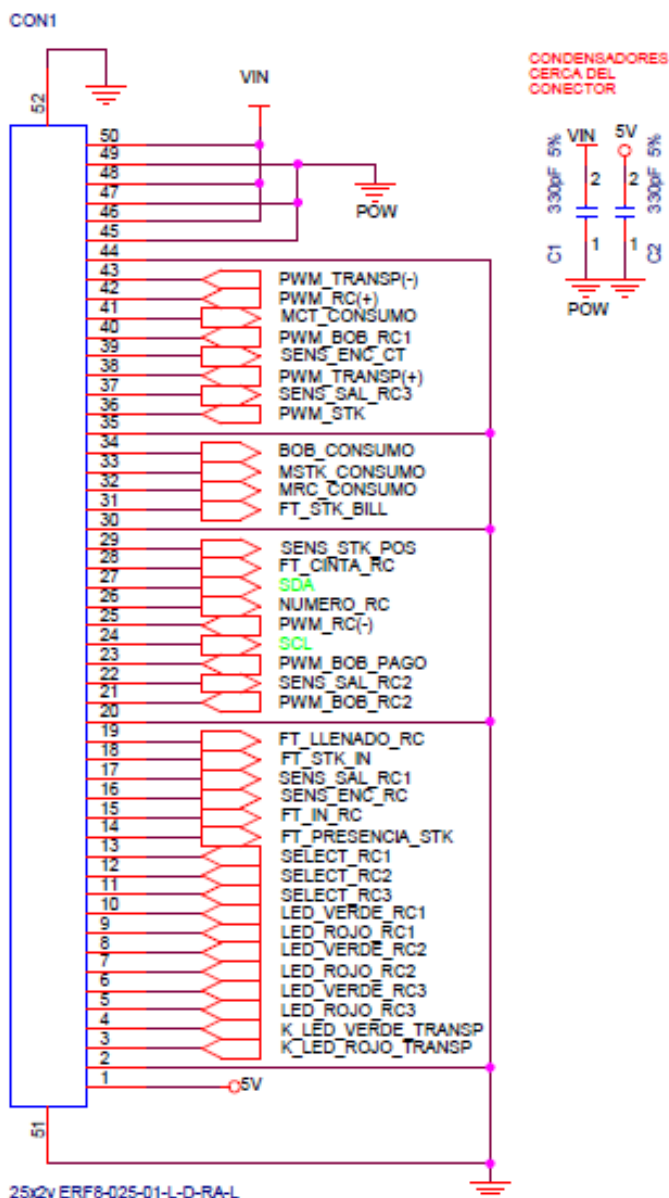
4.1 *TARJETA DE DISTRIBUCIÓN*

La tarjeta de distribución está formada por:

4.1.1 **Conectores**

Como ya hemos explicado anteriormente, la tarjeta de distribución sirve fundamentalmente de interfaz entre la tarjeta transporte y la tarjeta sensores rechazo, aunque no todos los pines que entran por el conector 1 salen por el conector 2, ya que la tarjeta de distribución tiene también una funcionalidad. El conector 1 es de 50 pines y el conector 2 de 60.

CONECTOR TARJETA TRANSPORTE



CONECTOR TARJETA SENSORES RECHAZO

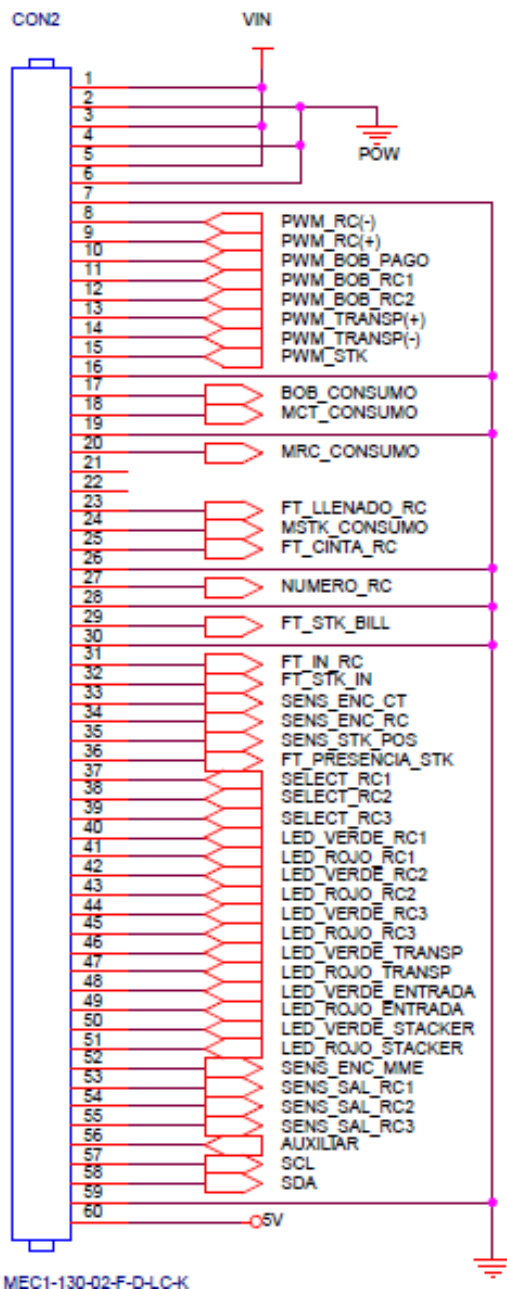


Ilustración 19, conectores de la tarjeta de distribución

4.1.2 LEDs indicadores

La tarjeta de distribución incluye tres pares de LEDs, los cuales tienen simplemente una función indicadora para el usuario:

- LED de estado stacker: Informa al usuario de si el stacker (depósito de billetes) está lleno (LED rojo) o vacío(LED verde).

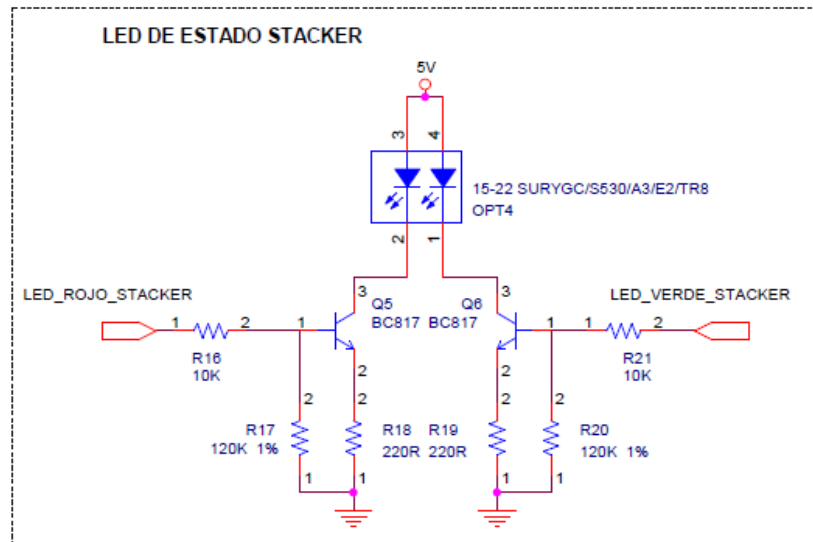


Ilustración 20, LED de estado stacker de la tarjeta de distribución

- LED de estado módulo entrada: informa al usuario de si la entrada del módulo de billetes está ocupada (LED rojo) o libre (LED verde).

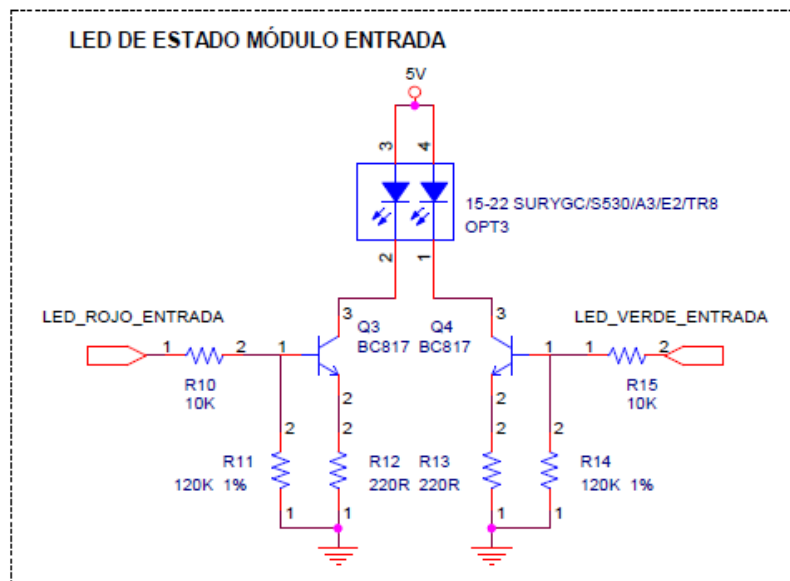


Ilustración 21, LED de estado módulo entrada de la tarjeta distribución

- LED de estado de tarjeta transporte: informa al usuario de si el módulo de transporte está ocupado (LED rojo) o libre (LED verde). El funcionamiento de los LEDs de entrada y de stacker consiste simplemente en que si la señal por la base es un 1 lógico, el transistor conduce en saturación y el LED se ilumina; si la señal es un 0 lógico, el transistor está en corte.

Para los LEDs de transporte, para que conduzca cualquiera de ellos, debe haber un 1 lógico tanto en la base como en el colector.

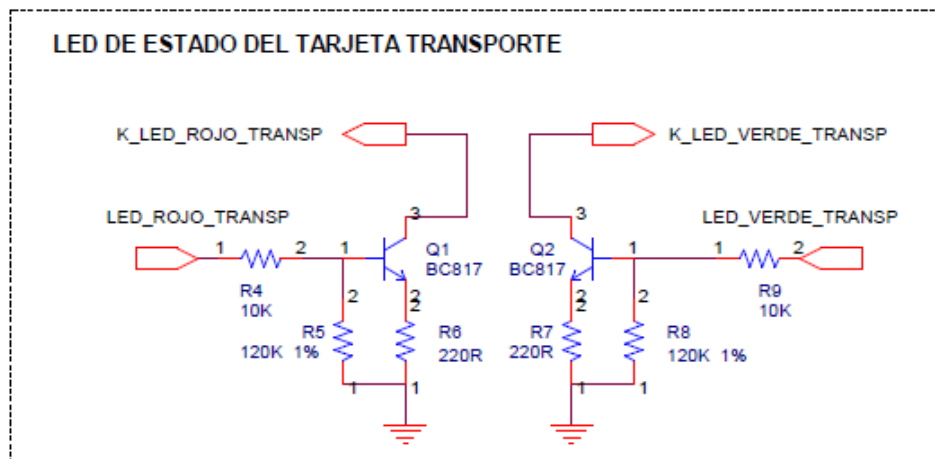


Ilustración 22, LED de estado del tarjeta transporte de la tarjeta distribución

- Encoder de motor módulo de entrada: El módulo de admisión de billetes necesita de una correa movida por un motor de corriente continua para barrer el billete de lado a lado con unos LEDs (de la tarjeta de sensores). En la tarjeta de distribución podemos encontrar un encoder, que sirve para regular la velocidad de giro del mismo.

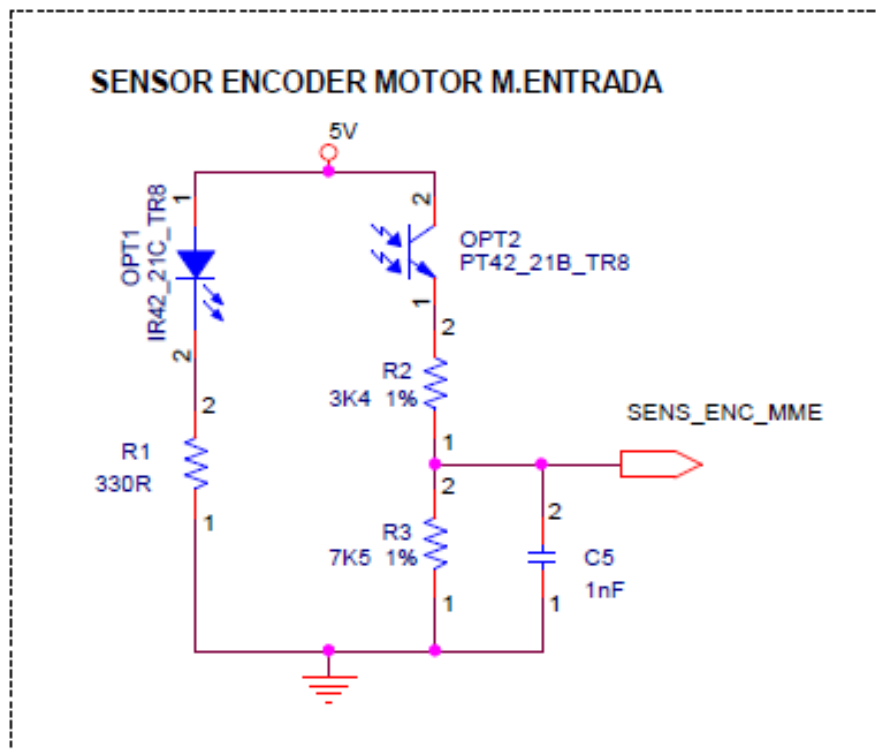


Ilustración 23, sensor encoder motor m. entrada. de la tarjeta distribución

4.1.3 Batería de condensadores

Para arranques del motor de continua presente en el módulo de billetes se necesitan corrientes grandes, que la tarjeta de control podría proporcionar pero a cambio de disminuir el voltaje del conjunto, que podría causar errores en el mismo.

Para solucionar este problema se añaden a la alimentación una batería de condensadores que, ante demandas grandes de corriente, pueden proporcionarla sin causar ninguna disminución de voltaje.

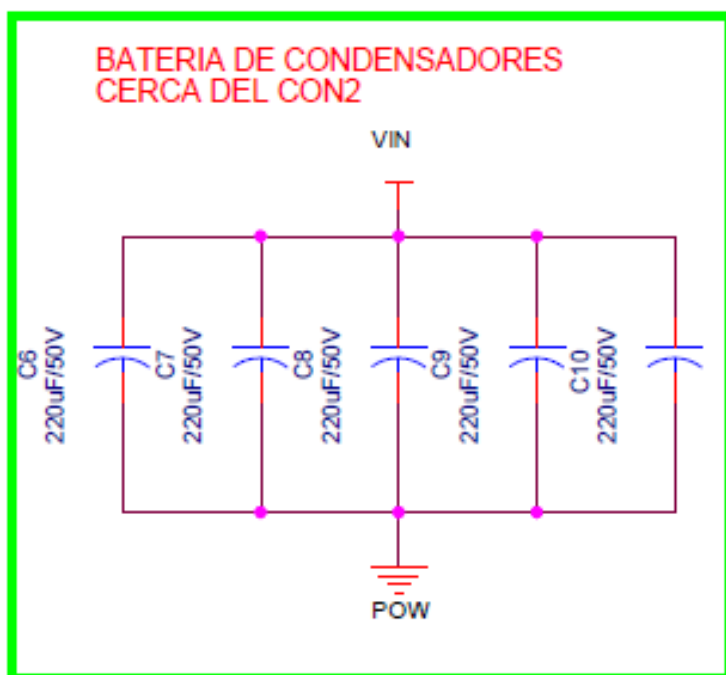


Ilustración 24, batería de condensadores de la tarjeta distribución

4.2 TARJETA SENSORES

A continuación se explicarán los distintos componentes que forman la tarjeta de sensores

4.2.1 Conector

Se trata de un conector de 16 pines de los cuales:

- VDD y VDD_ADC son voltajes de 3.3 voltios para alimentar los operacionales de la tarjeta.
- 5V: voltaje para de 5 voltios para alimentar los LEDs.
- Pines 3-6: pines de habilitación de encendido de los LEDs.
- Pines 7-10: pines de control de los LEDs.
- Pin GA_1 y ADQ_A2: pines que ajustan la ganancia del sensor de luz.
- Pin S_RBIH: salida del sensor de luz.

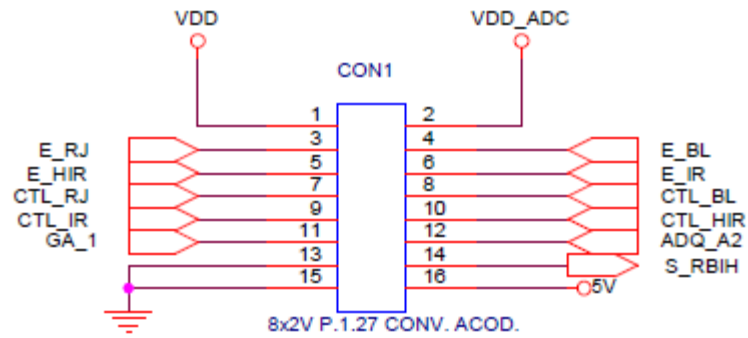
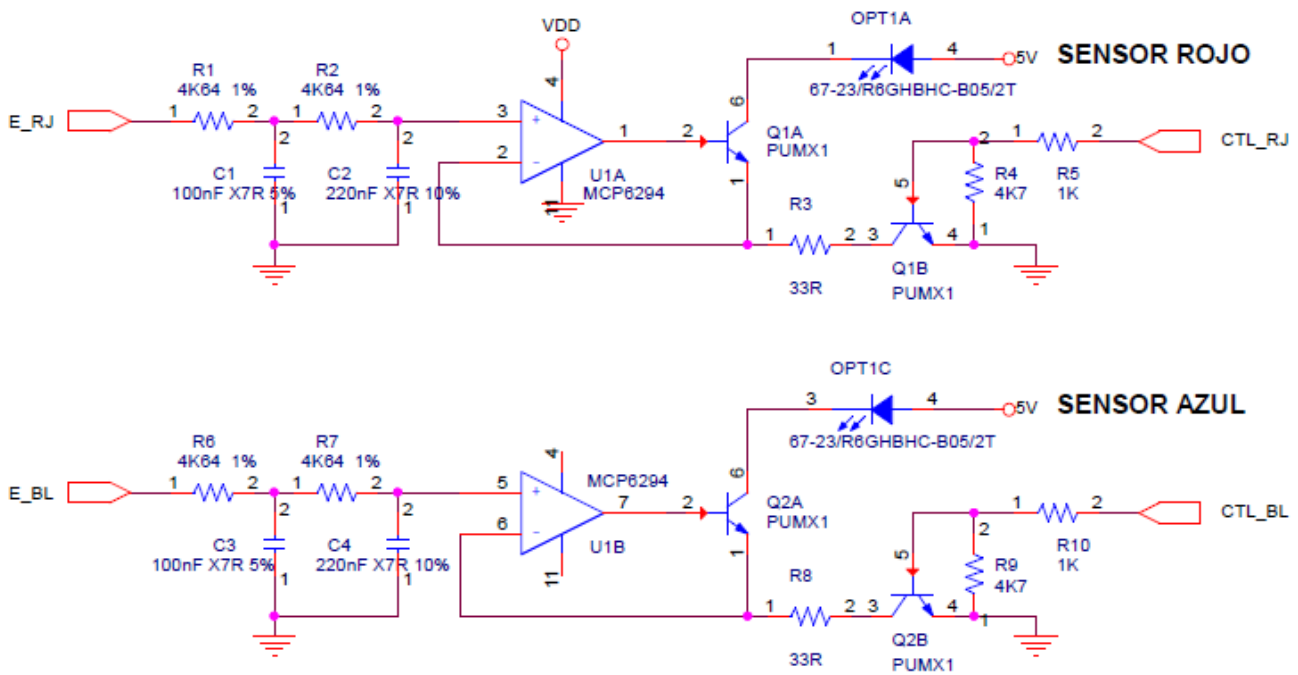


Ilustración 25, conector de la tarjeta sensores

4.2.2 Sensores emisores

La tarjeta de sensores incluye cuatro etapas similares para la iluminación de los LEDs. En las siguientes figuras se muestran los mismos (el sensor verde no está implantado).



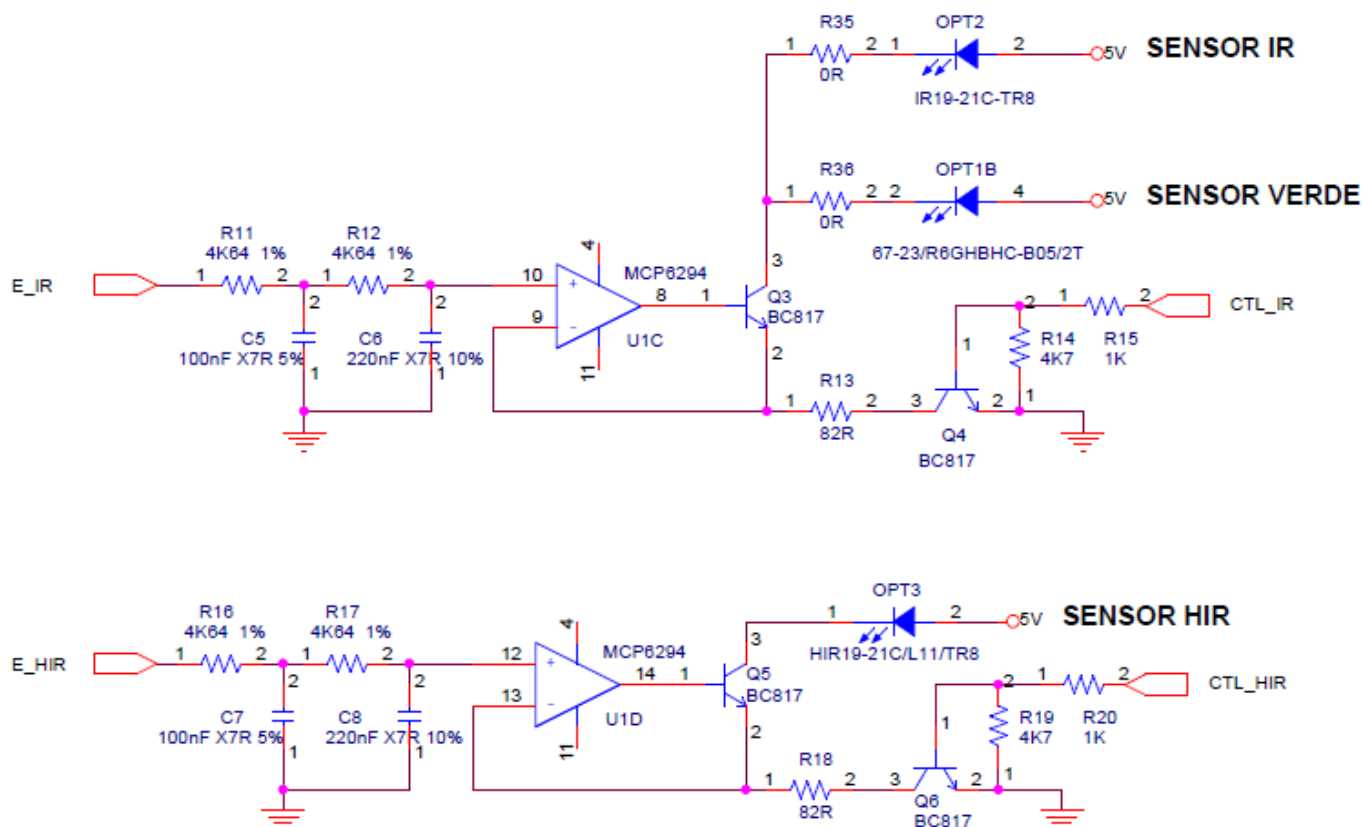
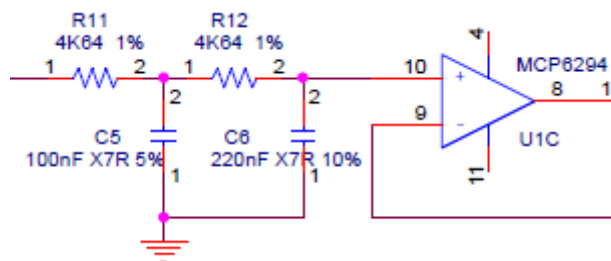


Ilustración 26, esquema eléctrico de las etapas de los LEDs de la tarjeta sensores

4.2.2.1 Etapa de filtrado

La primera etapa del circuito es doble filtro paso bajo, para que la señal de PWM que se introduce por los pines de habilitación llegue al pin de la patilla positiva en forma continua. El voltaje que llegará a la patilla será:

$V = V_{max} * D$; siendo V_{max} el voltaje máximo de la señal cuadrada de PWM y D el ciclo de trabajo de la señal.



El diagrama de Bode del doble filtro viene representado en la siguiente figura (línea continua).

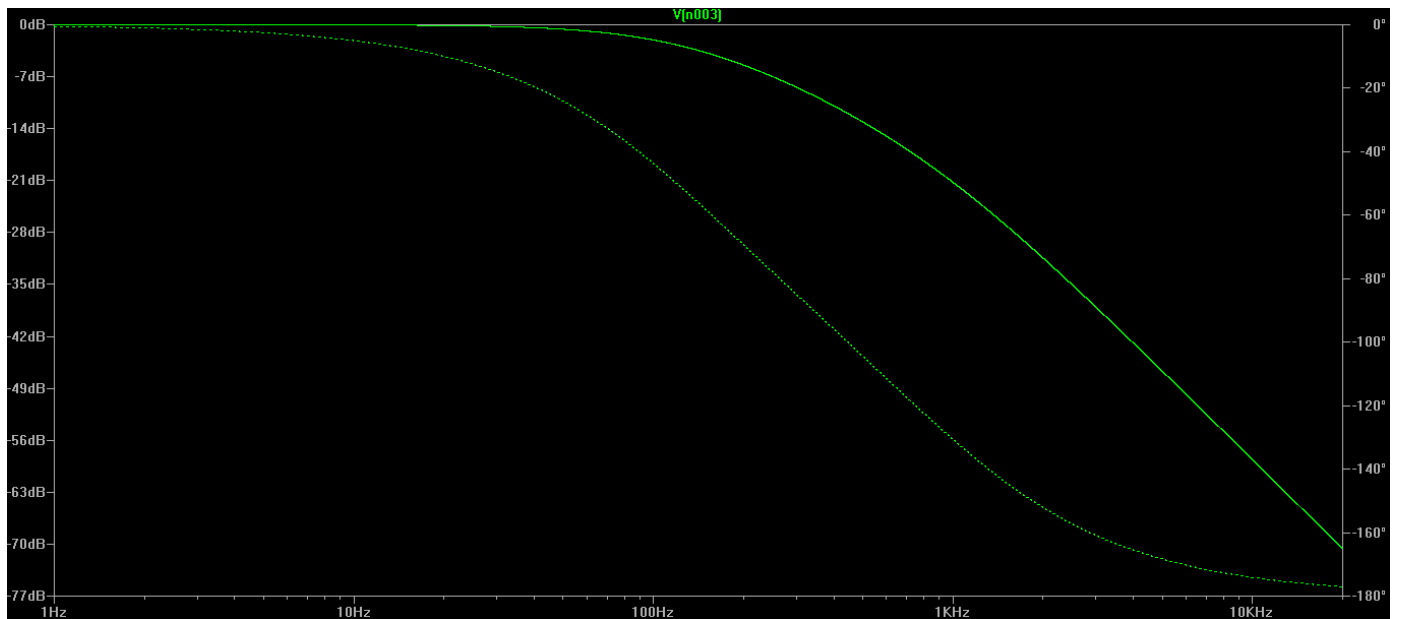


Ilustración 27, simulación con LTspice del doble filtro paso bajo de la etapa de filtrado del circuito de los LEDs de la tarjeta sensores (línea continua)

La frecuencia de PWM del arduino es de 490 Hz, por lo que según el diagrama de bode tendremos solamente una atenuación de la señal de -15dB, y la obtendremos a la salida un rizado de voltaje. Para solucionar este problema, modificamos los predivisores de los Timers 1 y 2 del arduino para conseguir una mayor frecuencia del PWM en los pines de alimentación de la tarjeta. El código empleado en el arduino es el siguiente:

```

2 void cambiarPWM() {
3   //FIJO LA FRECUENCIA DE LOS 4 LEDS
4   fijarFrecuenciaPWM(E_RJ_PWM);
5   fijarFrecuenciaPWM(E_BL_PWM);
6   fijarFrecuenciaPWM(E_IR_PWM);
7   fijarFrecuenciaPWM(E_HIR_PWM);
8 }
9 /*
10 RECORDAR QUE:
11 #define E_RJ_PWM 9 //PIN DE ALIMENTACION DE PWM DEL LED ROJO
12 #define E_BL_PWM 12 //PIN DE ALIMENTACION DE PWM DEL LED AZUL
13 #define E_HIR_PWM 11 //PIN DE ALIMENTACION DE PWM DEL LED HIR
14 #define E_IR_PWM 10 //PIN DE ALIMENTACION DE PWM DEL LED IR
15 PROGRAMA PARA CAMBIAR LA FRECUENCIA DEL PWM QUE ALIMENTARA LOS LEDS
16 LOS PINES CONCRETOS DE PWM QUE UTILIZAMOS SON EL TIMER 1 Y 2(FRECUENCIA PREDETERMINADA DE 490.20 HZ)
17 LA FRECUENCIA PREDETERMINADA DE LOS TIMERS 1 Y 2 ES UN PREDIVISOR DE 0X03 PARA EL TIMER 1
18 Y UN PREDIVISOR DE 0X04 PARA EL TIMER 2
19 */
20 void fijarFrecuenciaPWM(int pin) {
21   byte predivisor=1; //PREDIVISOR DE VALOR 1 (FRECUENCIA DE 31.372.55 HZ)
22   if (pin == 9 || pin == 10) { //SI EL PIN QUE QUIERO CAMBIAR ES EL 9 ó EL 10
23     TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | predivisor; //MODIFICO EL PREDIVISOR DEL TIMER 1
24   }
25   else if (pin == 11 || pin == 12) { //SI EL PIN QUE QUIERO CAMBIAR ES EL 11 ó EL 12
26     TCCR2B = TCCR2B & 0b11111000 | predivisor; //MODIFICO EL PREDIVISOR DEL TIMER 2
27   }
28 }

```

Obteniendo una frecuencia de PWM de alrededor de 31372.55 Hz para los cuatro pines de alimentación, y una atenuación de la frecuencia de -80dB, que es más de 5 veces más de atenuación que antes.

4.2.2.2 Etapa de memoria

La segunda etapa del circuito consiste en una “memoria de voltaje”. Al estar alimentado el circuito, si dejamos de hacerlo, la retroalimentación del operacional consigue mantener la base del transistor del LED con voltaje durante un tiempo.

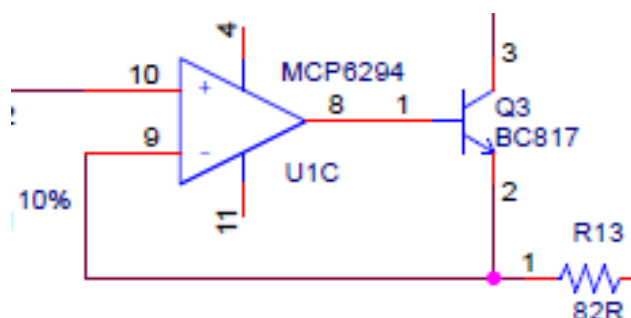


Ilustración 28, etapa de memoria del circuito de los LEDs de la tarjeta sensores

4.2.2.3 Etapa de control

La última etapa consiste en una etapa de activación/desactivación del LED.

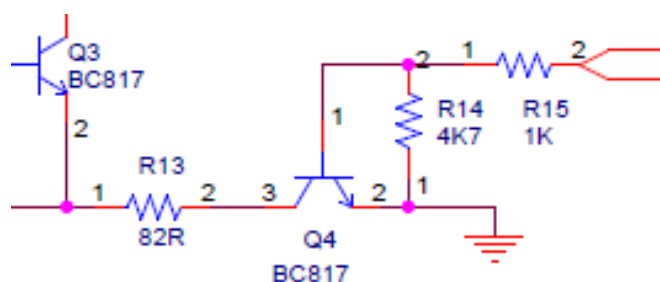


Ilustración 29, etapa de control del circuito de los LEDs de la tarjeta sensores

Si el pin de entrada que se ha mostrado en la figura está a nivel alto, el transistor se activa y cierra el circuito del LED.

4.2.3 Sensor receptor

A continuación se explicará el acondicionamiento de la etapa del sensor de luz de la tarjeta de sensores.

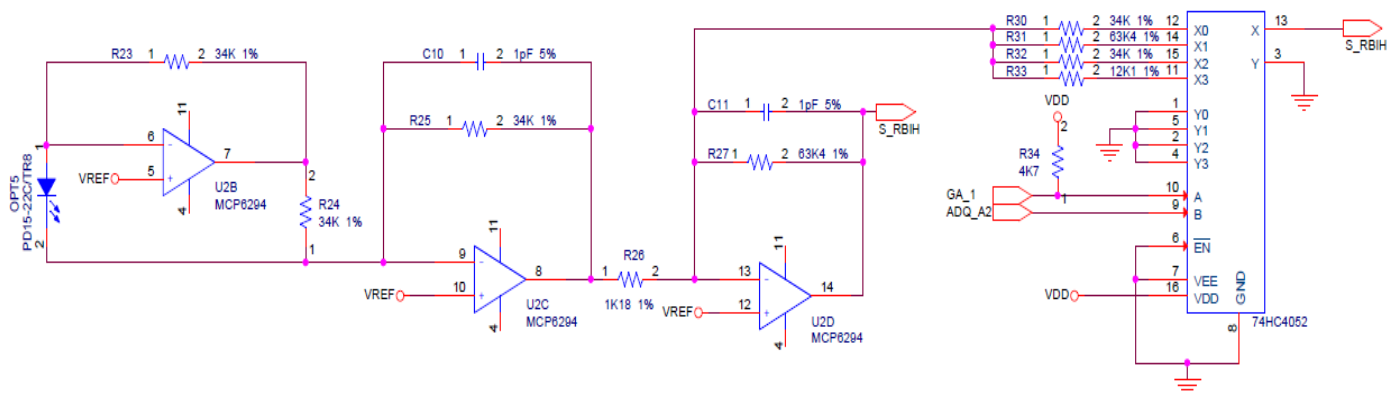


Ilustración 30, circuito del sensor receptor de la tarjeta sensores

4.2.3.1 Circuito de Vref

En el circuito, por la patilla positiva una señal llamada “VREF”. Analizando la siguiente figura podemos obtener su valor.

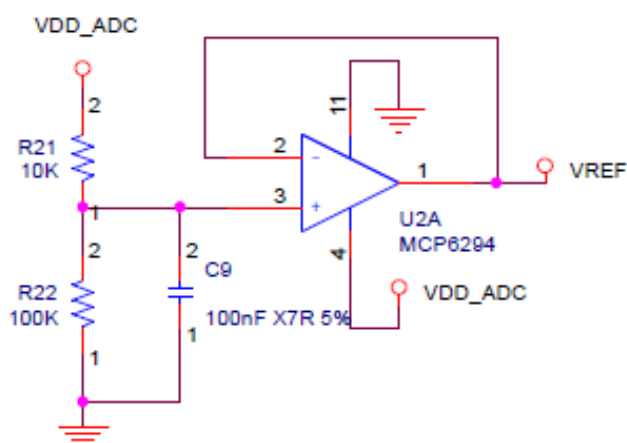


Ilustración 31, circuito seguidor de voltaje de la tarjeta sensores

El circuito de la figura es un seguidor de voltaje con valor:

$$VREF = \frac{VDD_{ADC} \cdot R22}{R21 + R22} = 3.3 \cdot \frac{100K}{100K + 10K} = 3 \text{ Voltios}$$

4.2.3.2 Etapa de eliminación de ruido

La primera etapa consiste en una fase de reducción de ruido en modo común. Necesaria ya que el sensor de luz tiene poca sensibilidad y nos afecta en gran medida el ruido.

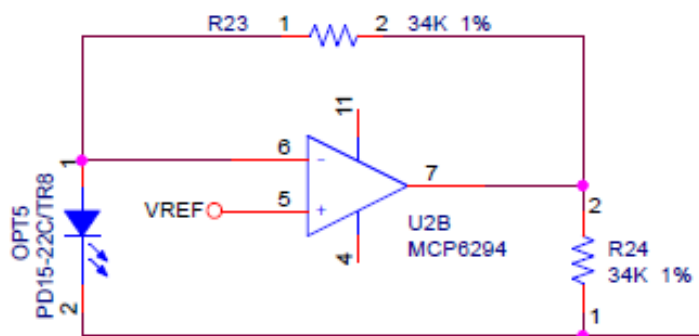


Ilustración 32, etapa de reducción de ruido del circuito del sensor de la tarjeta sensores

4.2.3.3 Etapa de amplificación

Una vez que se ha eliminado el ruido, se amplifica la señal con el siguiente montaje, en el cual se transforma la corriente proporcionada por el sensor en voltaje.

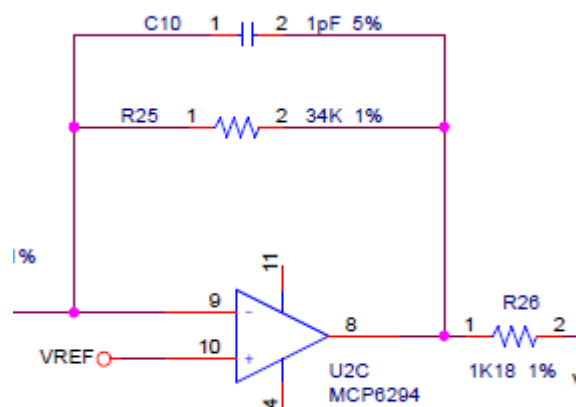


Ilustración 33, etapa de amplificación del circuito del sensor de la tarjeta sensores

4.2.3.4 Etapa de ganancia

Por último, se añade una etapa de ganancia con el fin de ajustar la señal a un rango de voltaje apropiado (si el sensor mide reflexión deberá tener una ganancia baja debido a que la señal será alta y si el sensor mide refracción deberá tener una ganancia alta ya que la señal es baja).

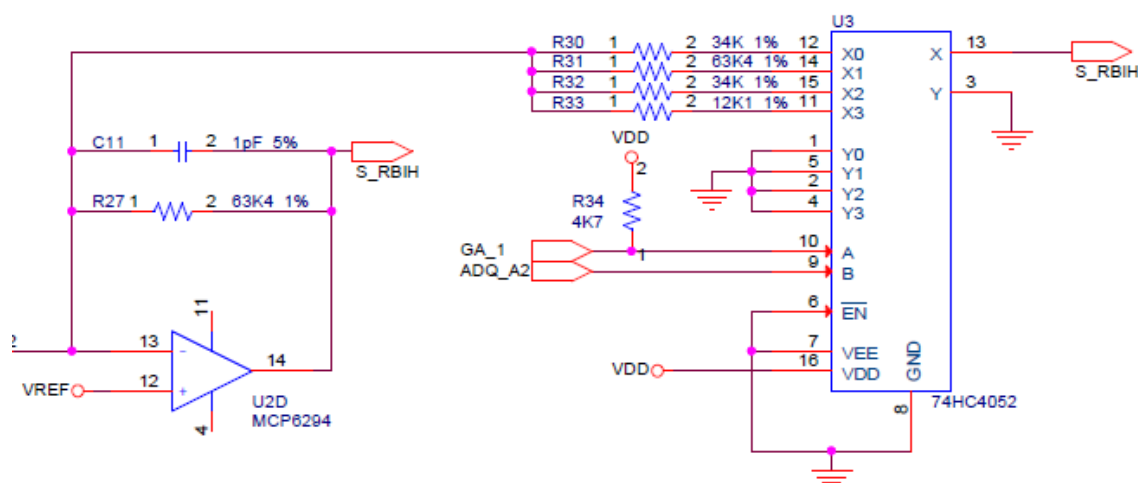


Ilustración 34, etapa de ganancia del circuito del sensor de la tarjeta sensores

Los pines de control son el GA_1 y el ADQ_A2. La ganancia predeterminada es la X1 con los pines GA_1 y ADQ_A2 a nivel alto y bajo respectivamente, con un valor de resistencia de 31,7K ohmios (dos resistencias en paralelo de 63K4 ohmios). La ganancia del canal seleccionado X0 o X2 es similar, con un valor de 22,13K ohmios (69% del valor de X1). Por último, la ganancia del canal X3 tiene una resistencia de 10,17K ohmios (32% del valor de X1).

5. DISEÑO DEL HARDWARE

Con el objetivo de comprobar el buen funcionamiento de las tarjetas de distribución y de sensores del módulo de admisión del módulo de billetes, se expondrá a continuación como se han configurado los elementos que se han usado.

5.1 *TARJETA DE DISTRIBUCIÓN*

5.1.1 RELÉS

Con el fin de proteger la tarjeta contra cortocircuitos, conmuta las alimentaciones de la tarjeta a través de un relé. Si hubiera un cortocircuito, circularía mucha corriente por la tarjeta de distribución y por el arduino, dañando ambas.

La solución a este problema es alimentar la tarjeta con una resistencia en serie de 230 ohmios. Si hubiera cortocircuito circularía por la tarjeta de distribución y por el arduino alrededor de 20 mA, intensidad que no perjudicaría ninguna de las tarjetas, ya que el arduino puede absorber hasta 40.

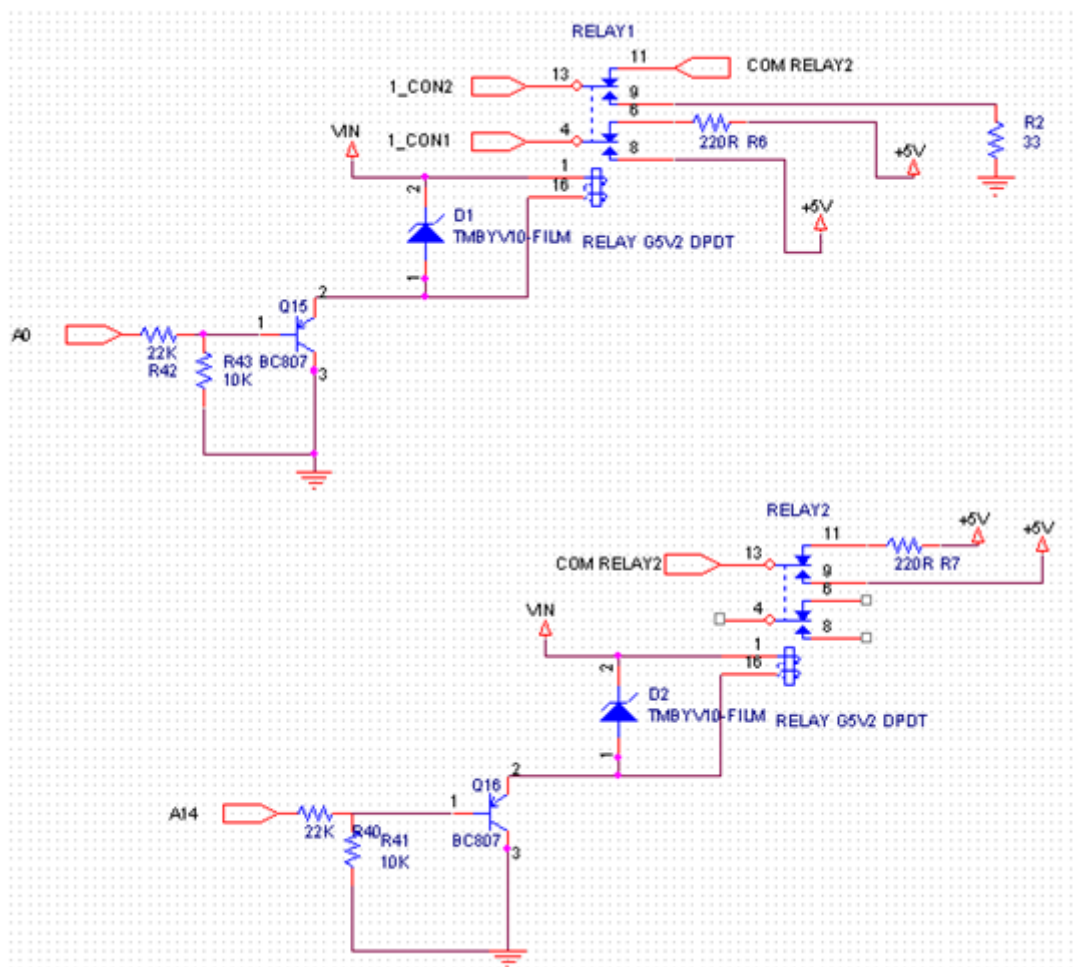


Ilustración 35, esquema eléctrico de los relés del verificador de la tarjeta distribución

5.1.2 MULTIPLEXORES/DEMULTIPLEXORES

En la tarjeta de distribución tenemos que verificar alrededor de 110 pines y el arduino solamente tiene 70, de los cuales solo podemos usar para la verificación alrededor de 25 (debido a los pines que utilizamos de los relés, la pantalla TFT y el módulo RTC).

Como no tenemos que acceder a más de dos pines a la vez de la tarjeta de distribución, usaremos multiplexores para poder acceder a todos los pines de la misma con solamente 21 pines de arduino. Al tratarse de multiplexores/demultiplexores, es posible introducir un voltaje a un pin determinado y obtener un voltaje de un pin determinado, ya que actúan como un interruptor. El esquema de los multiplexores viene indicado en el siguiente diagrama.

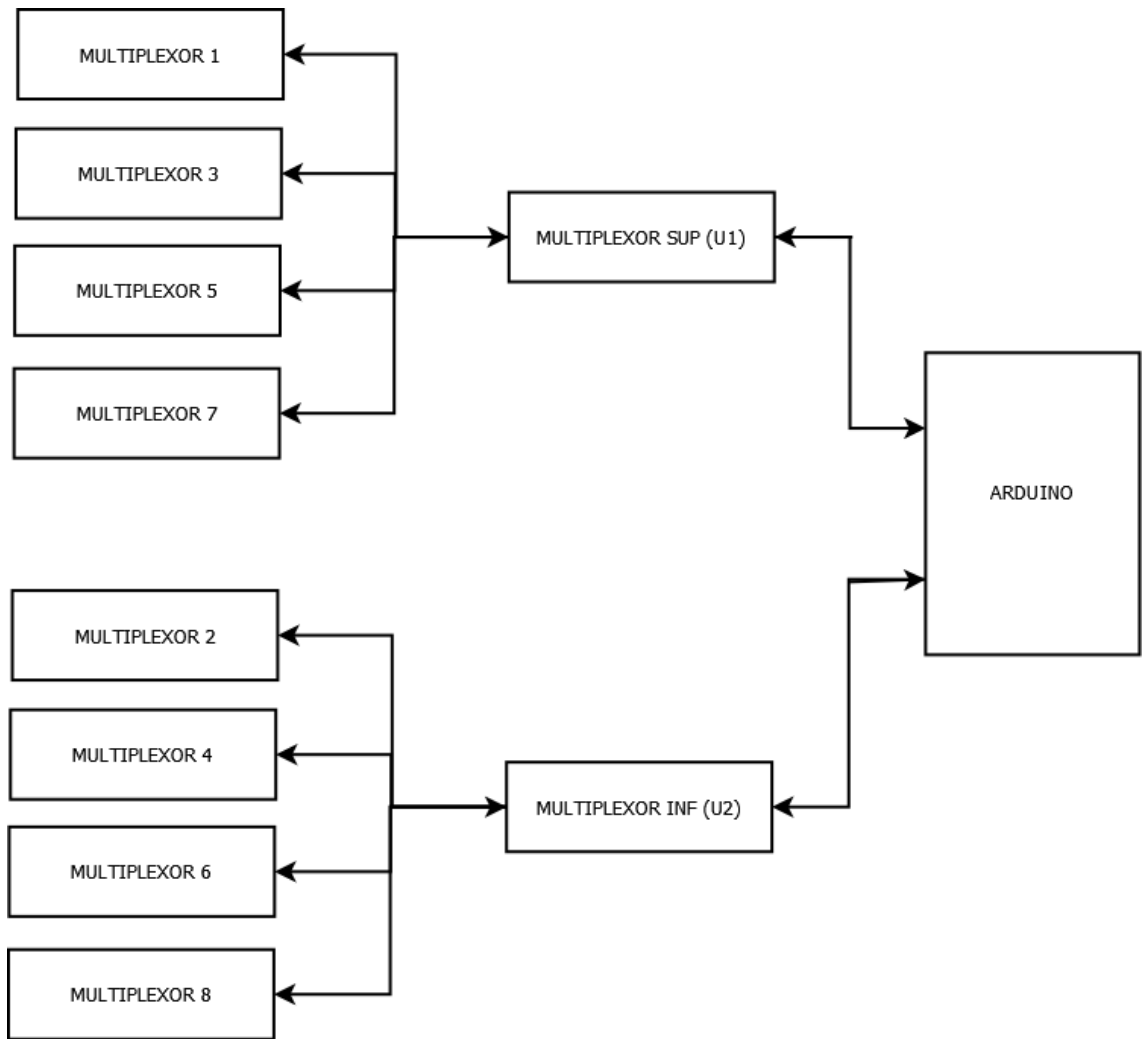
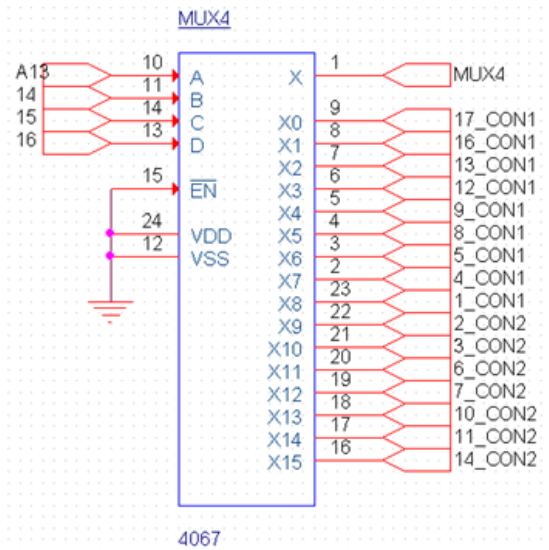
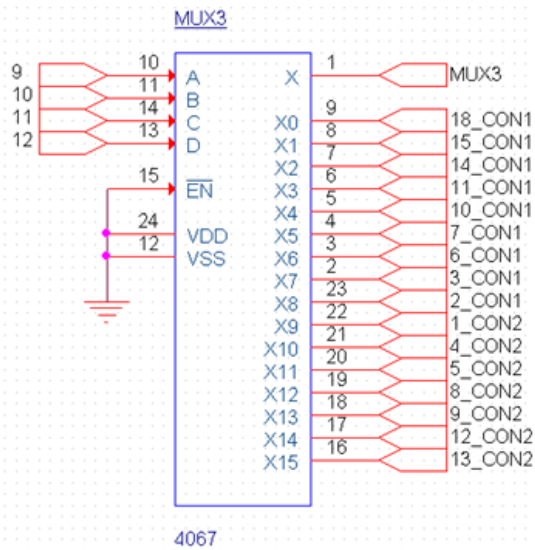
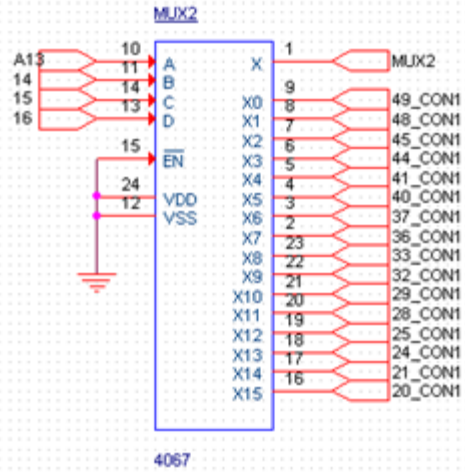
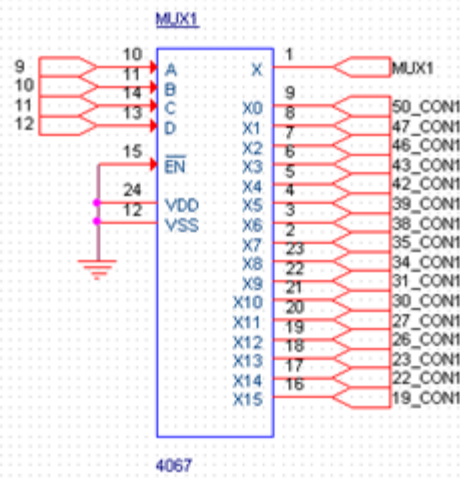


Ilustración 36, diagrama de la distribución de los multiplexores del verificador de la tarjeta distribución

Para ver si hay cortocircuitos entre pines, en la etapa superior se encuentran los pines en los cuales se comprueba si hay o no cortocircuito y en la etapa inferior se encuentran los pines contiguos a los pines a testear. Resumidamente, dos pines contiguos no pueden estar en la misma etapa (superior o inferior) de multiplexores.

ETAPA DE MULTIPLEXORES



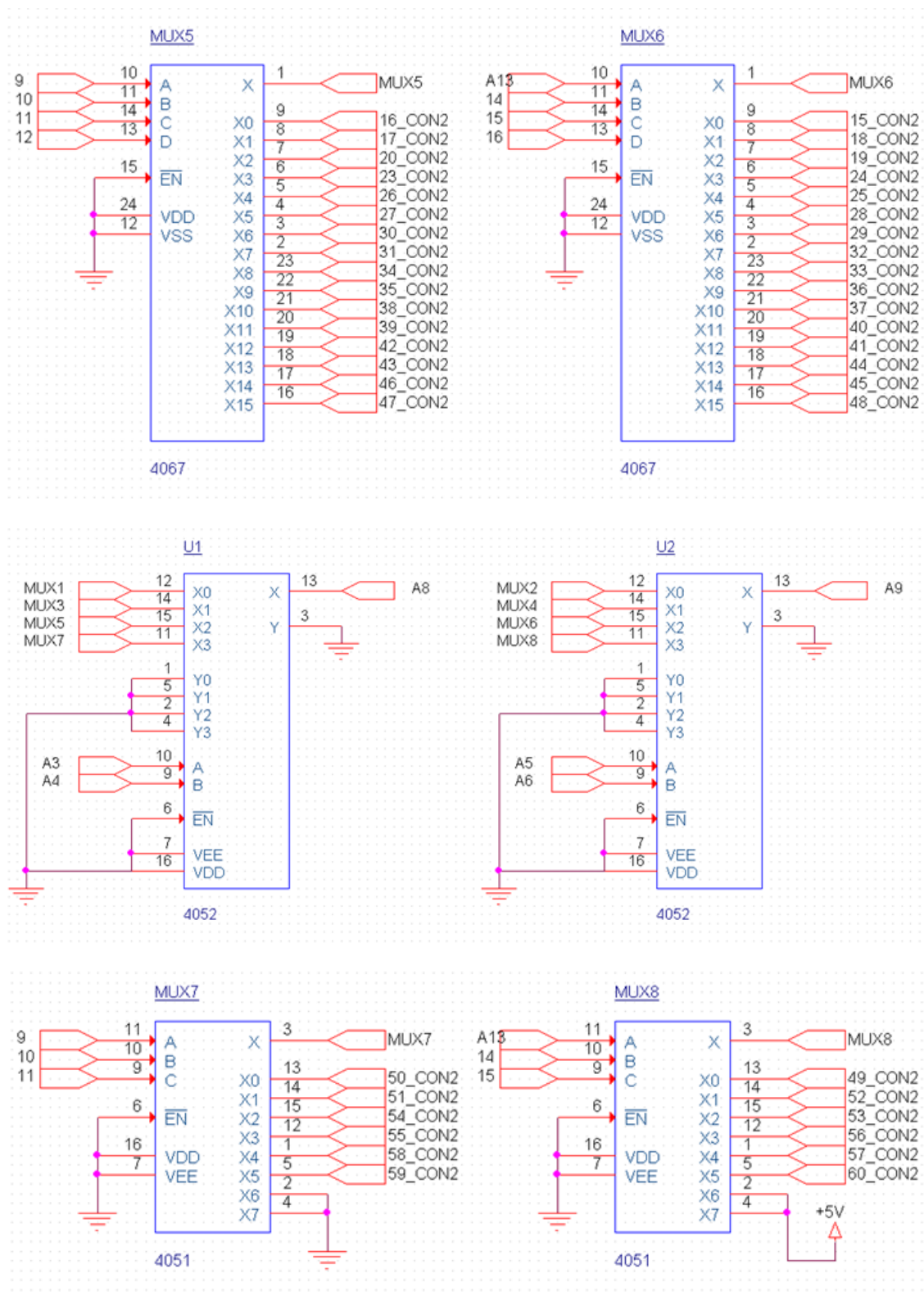


Ilustración 37, esquemas eléctricos de los multiplexores/demultiplexores del verificador de la tarjeta distribución

5.1.3 PULL UPS/ PULL DOWNS

Se ha añadido un pull up en los pines SDA y SCL del módulo del reloj RTC para su correcto funcionamiento (especificación del fabricante para módulos I2C).

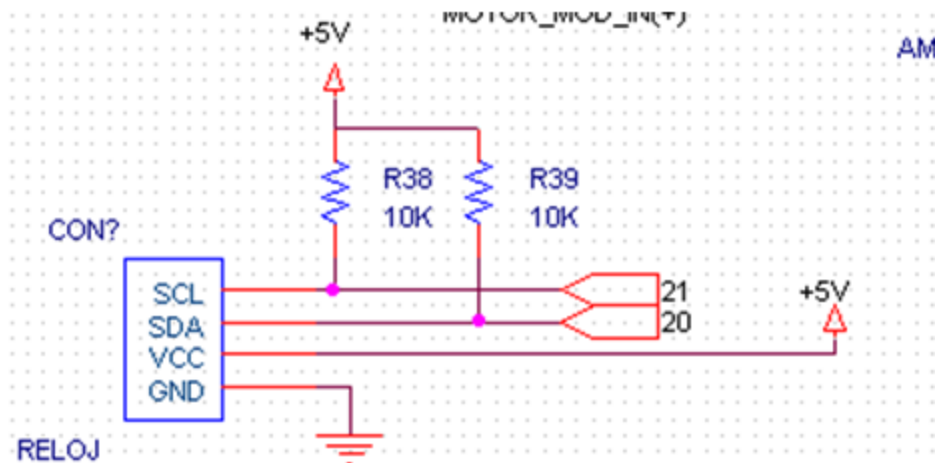


Ilustración 38, esquema eléctrico del pullup colocado en el módulo RTC del verificador de la tarjeta distribución

5.1.4 ESQUEMA ELÉCTRICO DE ARDUINO

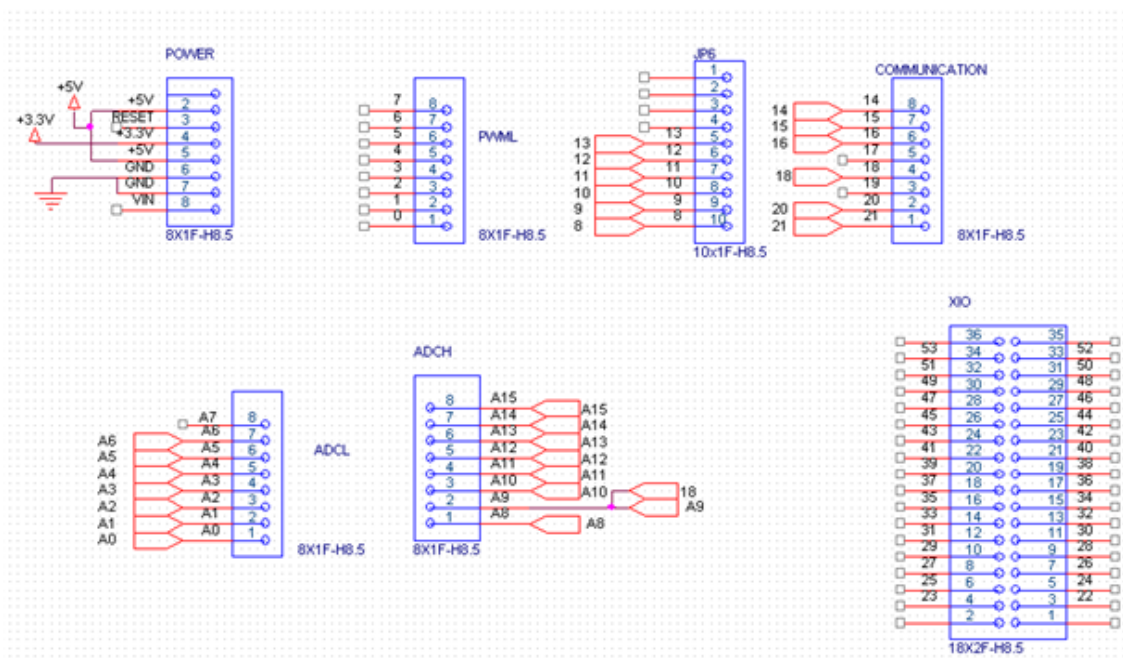


Ilustración 39, esquema eléctrico de los pines de arduino del verificador de tarjeta distribución

Se ha añadido también un pull down (para que la ganancia del sensor sea la máxima) al pin 12 del conector de la tarjeta de sensores (véase la ilustración 46) un pull down para referenciar el pin en todo instante.

5.2.2 RELÉS

Hemos añadido dos relés al circuito con el mismo objetivo que en la tarjeta de distribución: proteger la tarjeta y el arduino de los cortocircuitos. Al principio alimento la tarjeta con alta impedancia de forma que si hay cortocircuito, circulan solamente 20 mA (arduino es capaz de absorber o proporcionar 40).

Una vez que nos aseguremos que la tarjeta no tenga cortocircuitos, conmutaremos el estado del relé para que los operacionales y los LEDs estén alimentados con baja impedancia y así hacerlos funcionar como

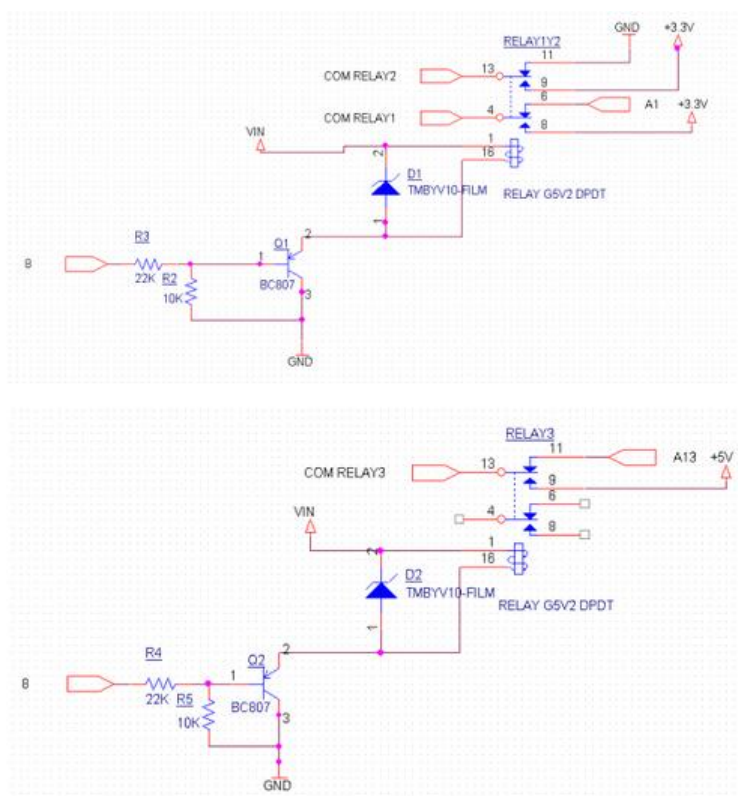


Ilustración 42, esquema eléctrico de los relés del verificador de la tarjeta sensores

6. DISEÑO DEL SOFTWARE

6.1 *DETECCION DE FALLOS DE TARJETA DE DISTRIBUCIÓN*

A continuación se explicará cómo detecta cada uno de los errores el verificador de tarjetas de distribución.

6.1.1 **DETECCIÓN DE CORTOCIRCUITO EN CONECTOR**

Para la detección de cortocircuitos, barremos los conectores con el multiplexor con dos pines analógicos del arduino. Uno de los pines está definido como entrada con pull up interno y el otro pin está definido como salida y a nivel bajo de voltaje.

Como vemos en la siguiente figura, si existe un cortocircuito en un conector, veremos en el pin analógico una señal de nivel bajo de voltaje.

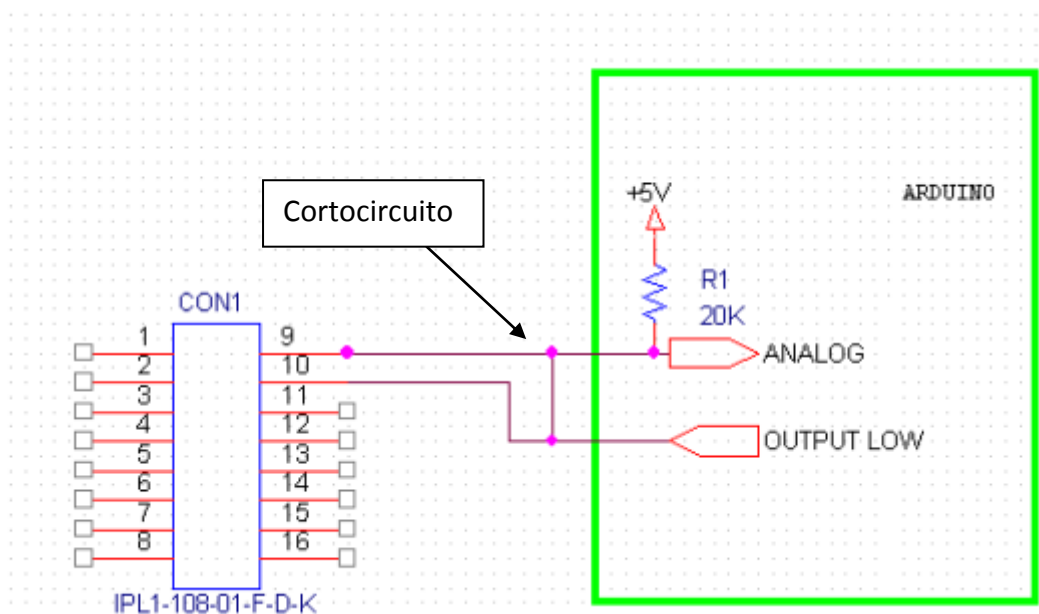


Ilustración 45, detección de cortocircuito en conector

En caso de que no hubiera cortocircuito, por el pin analógico veríamos una señal de nivel alto de voltaje, como se puede apreciar en la siguiente figura.

6.1.2 **COMPROBACIÓN DE CONEXIÓN ENTRE CONECTORES**

Para comprobar que la tarjeta de distribución conecta con la tarjeta de interfaz 2, conectamos un pin de un conector al arduino (analógico entrada con pull up interno) y el respectivo pin con el conecta de la otra tarjeta a otro pin de arduino (salida digital). Introducimos un nivel bajo de voltaje por el pin digital y si hay conexión entre los pines, recibiremos por el pin analógico un nivel de voltaje bajo. En caso de

que no haya conexión entre los pines recibiremos una señal de nivel alto debido al pull up interno del pin analógico.

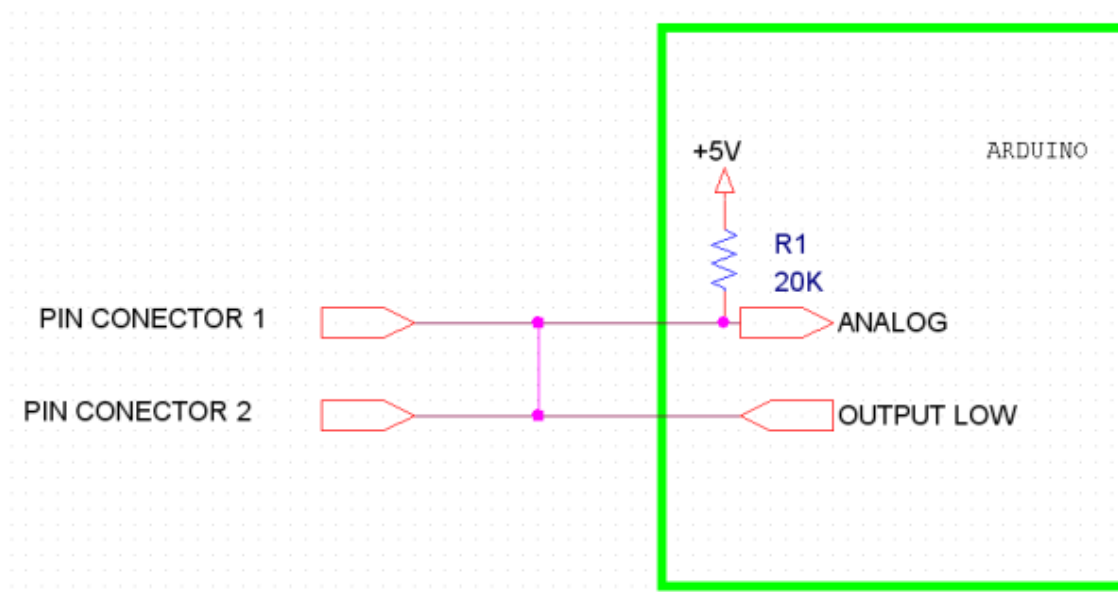


Ilustración 46, comprobación de conexión entre pines de la tarjeta de distribución

6.1.3 TEST DE FUNCIONALIDAD

6.1.3.1 ENCODER

Para comprobar que la etapa de encoder funciona correctamente, primero nos aseguramos que el LED esté siendo alimentado a un nivel de voltaje aceptable (mayor de 4.5 voltios).

Si el test de alimentación es superado, procedemos a hacer girar el motor. En el pin de encoder está conectado un pin analógico a través de los multiplexores (para detectar cortocircuitos en el test de los conectores) y a un pin digital (un pin configurable como interrupción externa). Se configura el pin digital como interrupción externa, que saltará a una subrutina ante un cambio de voltaje en el pin provocado por el encoder.

El encoder está conectado en el módulo de admisión a la CPU, la cual trabaja de 0 a 3.3 voltios. Nuestro arduino trabaja en un rango de 0 a 5 voltios, detectando un 1 lógico a partir de un valor de 3 voltios. Para que tengamos una medida aceptable, definimos los pines analógico y digital como entrada con pull up, para así aumentar el voltaje del encoder a un rango de 1.6 a 3.8 voltios (1.6 voltios cuando el encoder tapa la barrera óptica y 3.8 voltios cuando se activa el transistor de la siguiente figura).

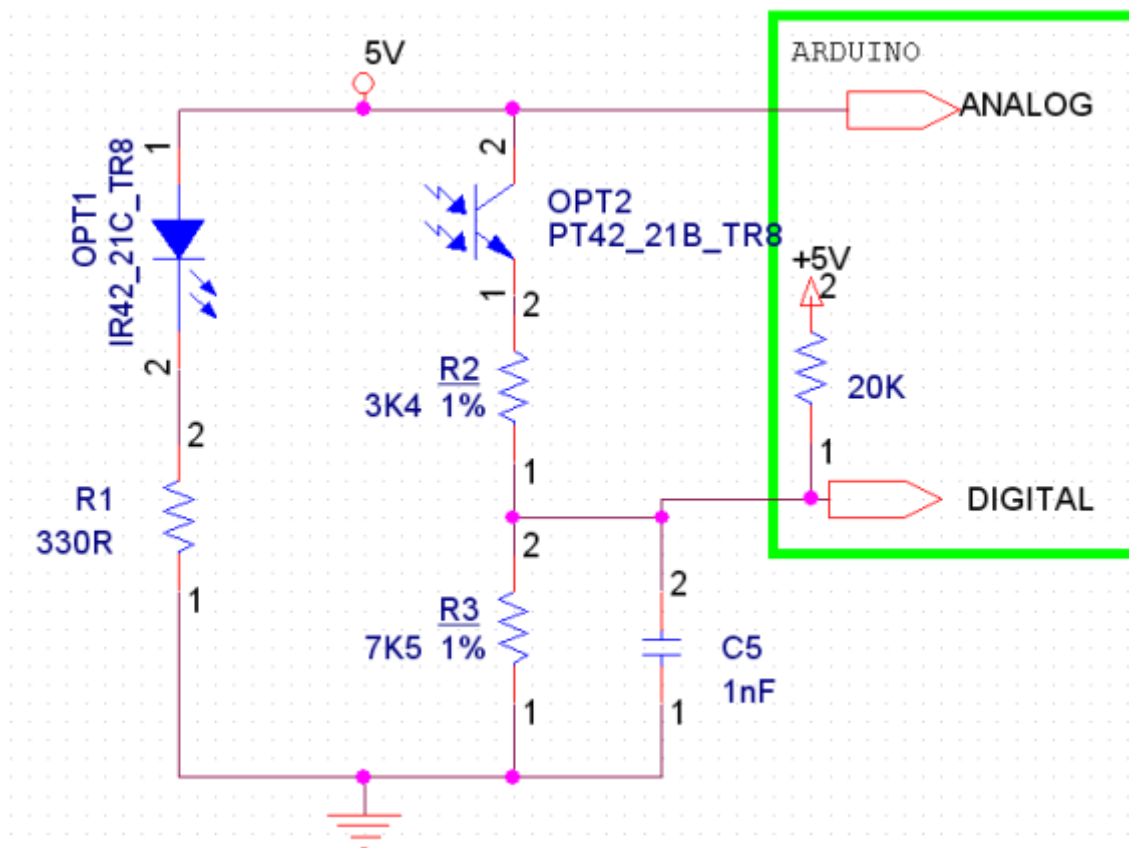


Ilustración 47, comprobación del funcionamiento del encoder de la tarjeta distribución

6.1.3.2 LEDS

Para comprobar el funcionamiento de los LEDs, primero veo la medida que mide el pin analógico y después activo uno de los LEDs. Al circular una corriente por la resistencia, provoca una caída de potencial que es medida por el pin analógico.

Al activar el LED veo una diferencia de potencial con respecto a la medida en reposo de 1 voltio, que aproximadamente es una intensidad de 5 mA que circula por la resistencia R22.

Si al activar el LED no vemos ninguna diferencia de voltaje, significará que alguno de los componentes del circuito no funciona correctamente.

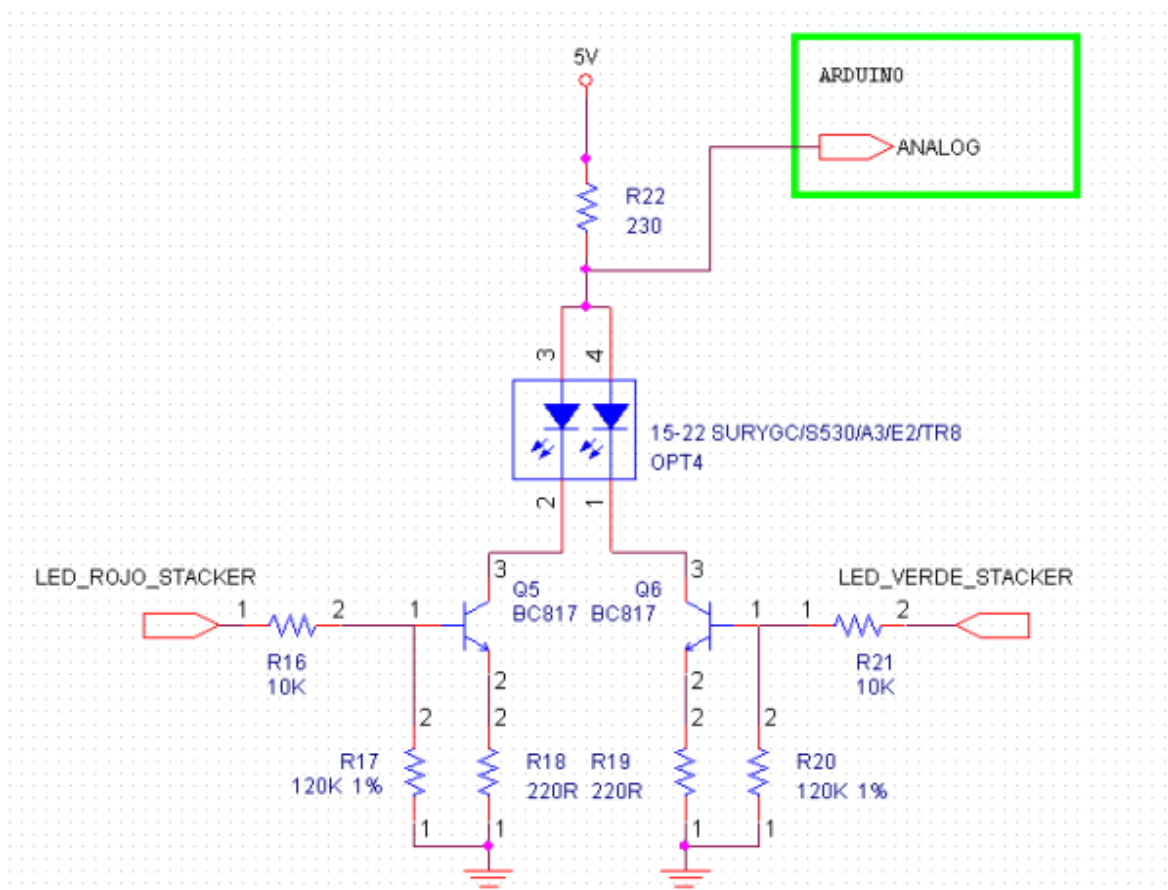


Ilustración 48, comprobación del funcionamiento de los LEDs indicadores de la tarjeta distribución

6.1.3.3 CONDENSADORES

Para comprobar que todos los condensadores están bien soldados, durante la etapa de test de cortocircuitos y conexiones los condensadores se cargan.

Una vez que se han hecho todas las medidas del test de funcionalidades, se conmutan los relés y VIN pasa a estar a tierra, por lo que los condensadores comienzan a descargarse a través de la resistencia de 220 ohmios.

Si alguno de los condensadores está defectuoso, obtendremos una curva de descarga más inclinada.

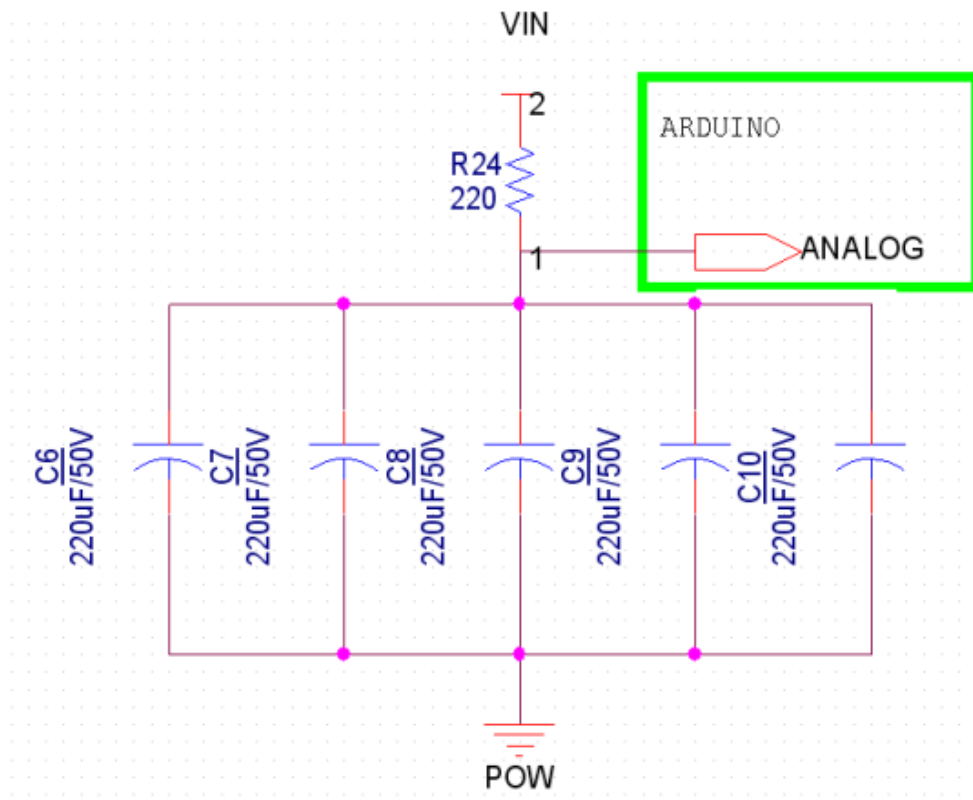


Ilustración 49, comprobación de la batería de condensadores de la tarjeta distribución

Una vez que activamos el relé para cambiar la alimentación (conectado a GND en vez de a VIN), esperamos a que la señal de los condensadores baje de los 4.5 voltios (esperamos a que conmute el relé) y desde ese momento esperamos alrededor de 35 milisegundos, donde vemos que la diferencia de voltaje entre las señales son de alrededor de 0.5 voltios como vemos en la figura (batería de 5 condensadores línea roja, batería de 4 condensadores línea azul).

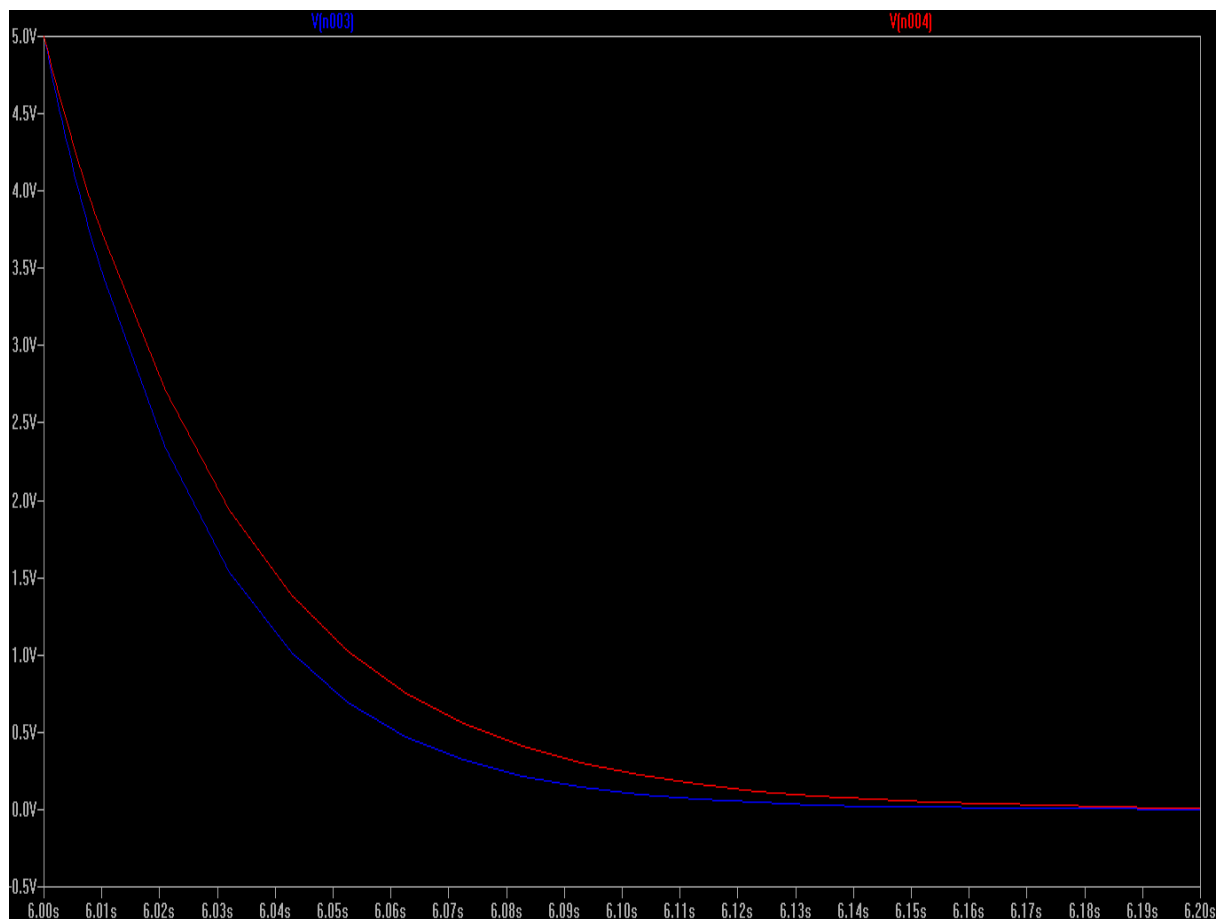


Ilustración 50, simulación en LTspice de la descarga de los 5 condensadores (línea roja) y de los 4 condensadores (línea azul) de la tarjeta de distribución

Si hubiera más de un condensador defectuoso veríamos una diferencia de voltaje aún mayor entre la medida teórica y la experimental.

6.2 DETECCIÓN DE FALLOS DE TARJETA DE SENSORES

6.2.1 DETECCIÓN DE CORTOCIRCUITO EN CONECTOR

Al conectar una tarjeta en el verificador, ésta es alimentada con alta impedancia y los pines del arduino conectados a la tarjeta están definidos como entradas, para que en caso de cortocircuito no se ponga en riesgo la tarjeta a verificar ni el verificador. Los pines de alimentación son el 1,2 y 16 están conectados a los relés como indica la siguiente figura:

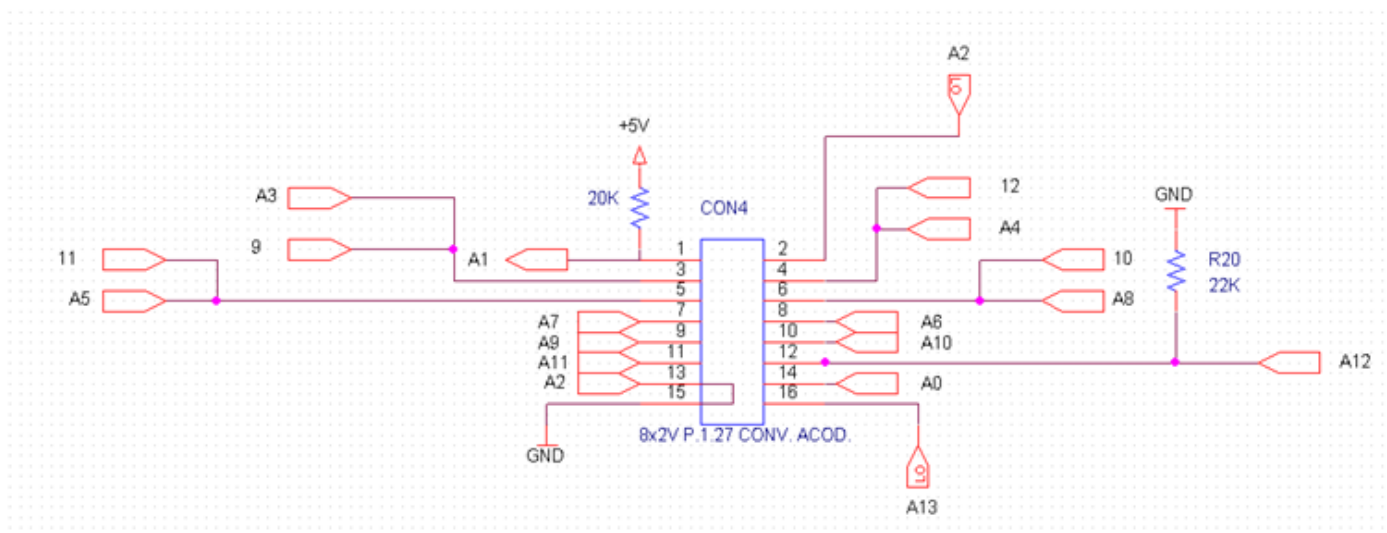


Ilustración 51, conector del verificador de tarjetas sensores antes de realizar test

Al iniciar el test los relés se encuentran en conectados al “normalmente cerrado”, por lo que los pines 1,2 y 16 están conectados a un pin analógico, a tierra y a otro pin analógico respectivamente.

Las comprobaciones de los pines del conector son:

- **Conectividad entre pin 13 y 15 del conector:** Estos dos pines están conectados internamente en la tarjeta de sensores, por lo que para ver que realmente estén conectados, configuro el pin analógico A2 como entrada con pull up. Si los pines están conectados internamente la lectura de voltaje es de 0 voltios y en el caso de que no estén conectados 5 voltios. Se ajusta el límite de voltaje a 0.7 voltios.

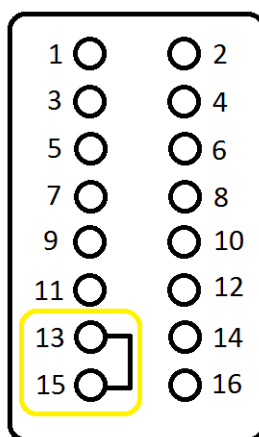
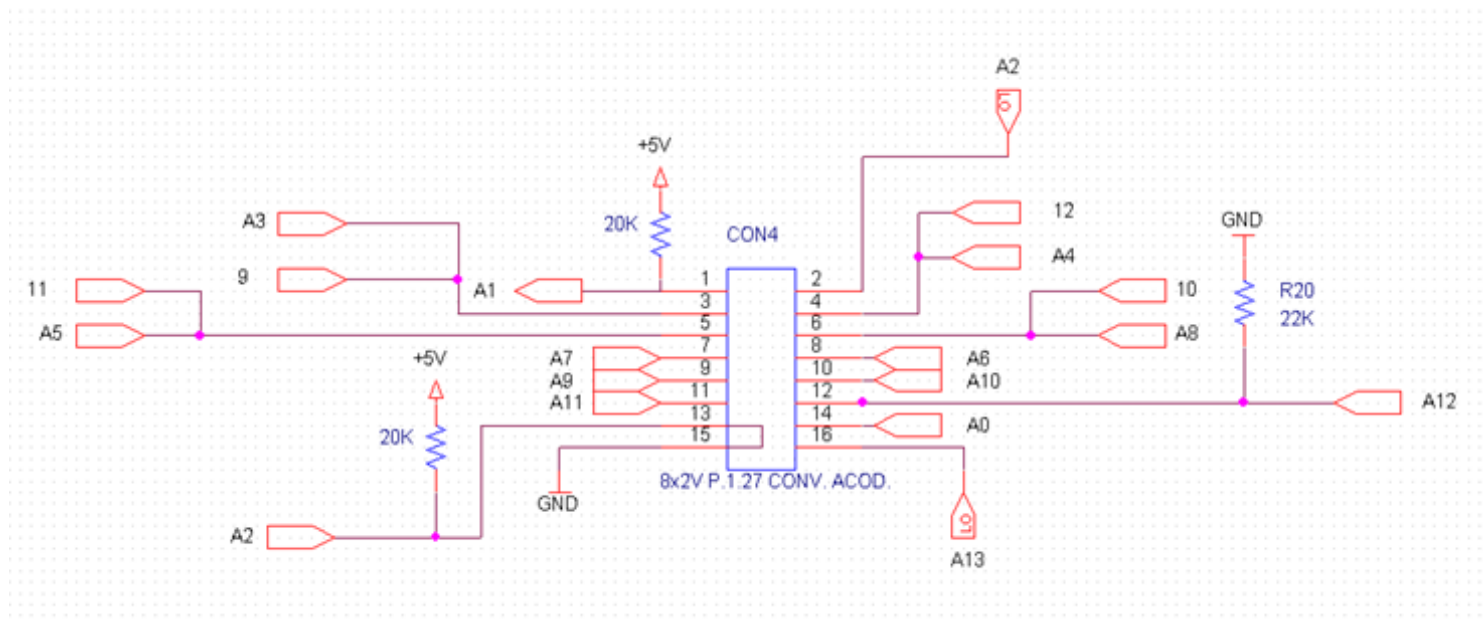


Ilustración 52, comprobación de conexión de tierra en la tarjeta distribución

- **Cortocircuito entre pin 1, pin 2 y pin 3 del conector:** defino el pin analógico conectado al pin 1 del conector como entrada con pull up y el pin 3 como salida e introduzco un 0 lógico. Si hubiera cortocircuito entre el pin 1 y 2 del conector o entre el 1 y 3 del conector veríamos un nivel de voltaje bajo en el pin 1, de lo contrario veríamos un nivel de voltaje alto debido al pull up (si hay cortocircuito la lectura de voltaje es de 0 voltios en caso de cortocircuito con el pin 2 y de 0.2 voltios en caso de cortocircuito con pin 3. Si no hay cortocircuito la lectura de voltaje en el pin 1 es de 1.7 voltios. Se ajusta el límite de voltaje a 0.5 voltios.

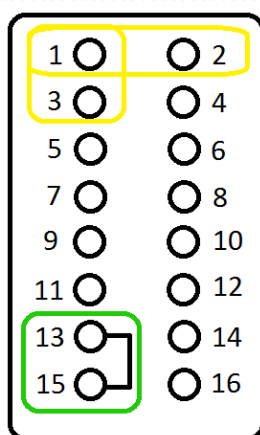
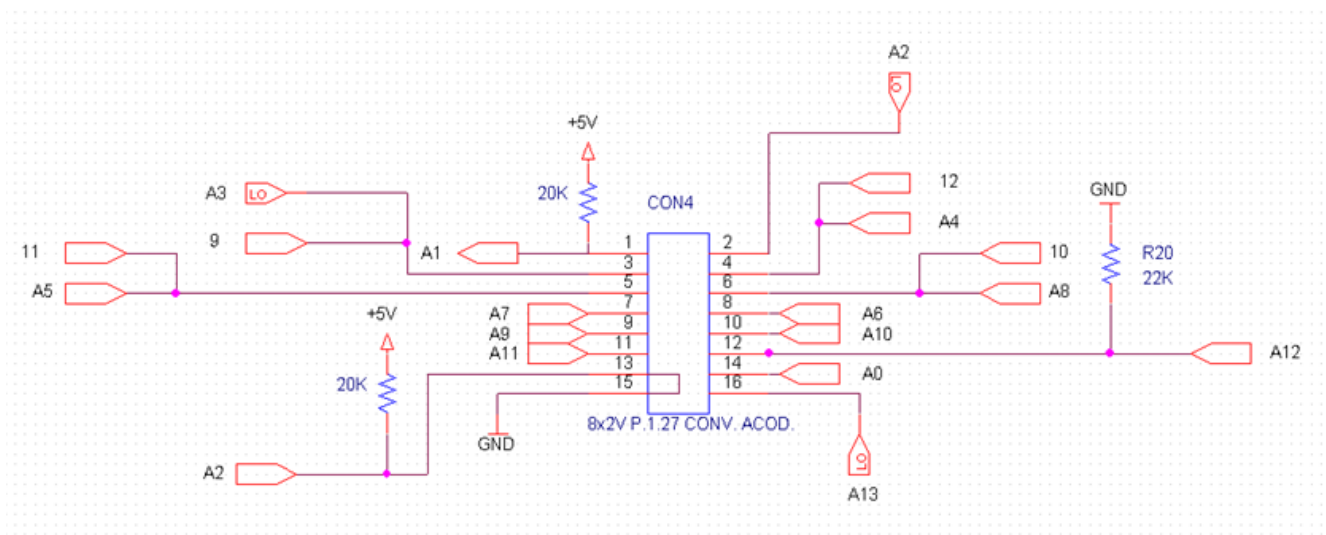


Ilustración 53, comprobación de cortocircuitos en pin 1

- Cortocircuito entre pin 2 y pin 4 del conector:** defino el pin analógico del arduino conectado al pin 4 del conector como entrada con pull up. Si hay cortocircuito entre el pin 2 y 4 del conector la lectura de voltaje es de 0.2 voltios. Si no hay cortocircuito la lectura de voltaje es de 2.9 voltios. Se ajusta el límite de voltaje a 0.5 voltios.

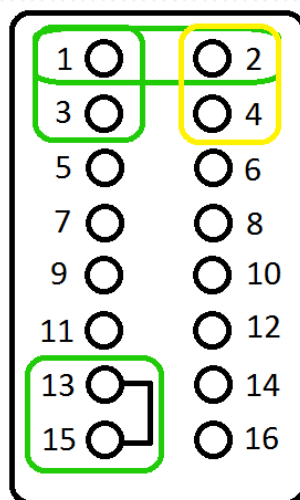
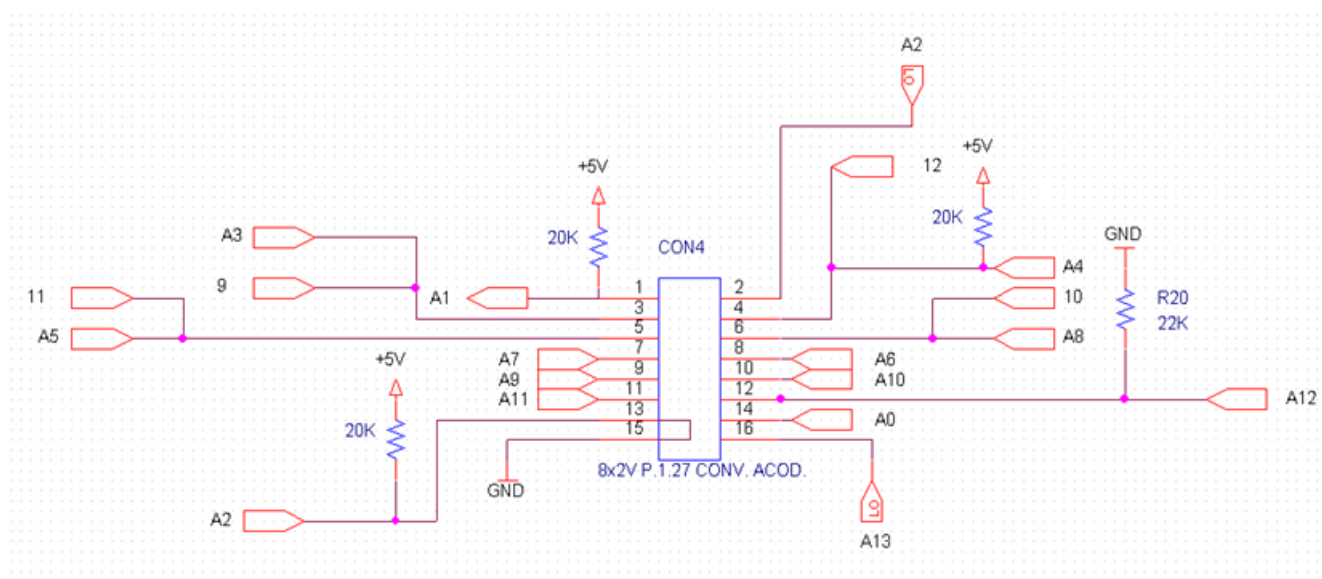


Ilustración 54, comprobación de cortocircuito en pin 2

- Cortocircuito entre pin 11 y los pines 12 y 13 del conector:** defino el pin analógico conectado al pin 11 del conector como entrada con pull up y el pin 12 como salida e introduzco un 0 lógico (el pin 13 es tierra así que no tengo que hacer nada). Si hubiera cortocircuito entre el pin 11 y el 12 o 13 la lectura de voltaje es de 0 voltios. Si no existe cortocircuito la medida de voltaje es de 2 voltios. Se ajusta el límite de voltaje a 0.3 voltios.

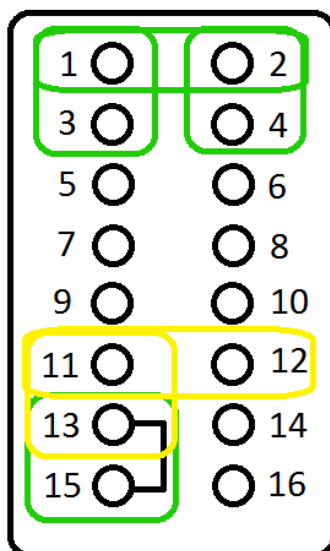
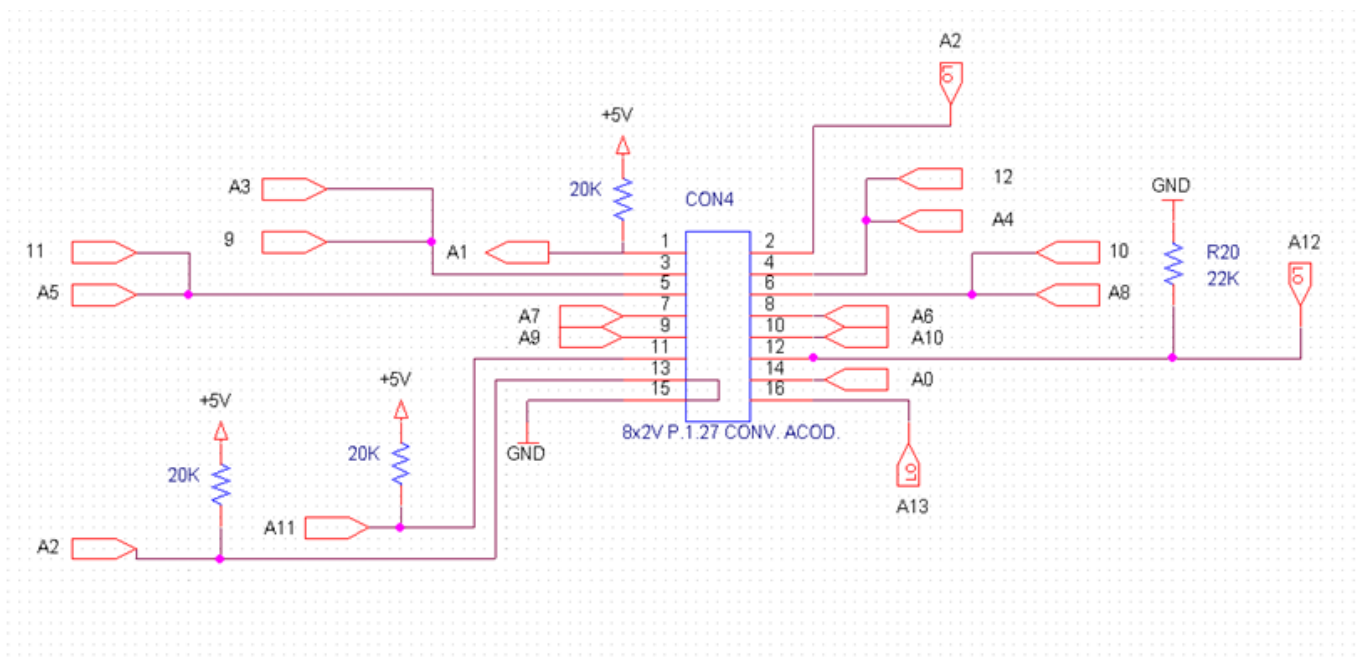


Ilustración 55, comprobación de cortocircuito en pin 11

- Cortocircuito entre pin 16 y los pines 14 y 15 del conector:** defino el pin analógico conectado al pin 16 del conector como entrada con pull up y el pin 14 como salida e introduzco un 0 lógico (el pin 15 es tierra así que no tengo que hacer nada). El pin 14 tiene una complicada electrónica por la parte del conector, pero al estar la alimentación en alta impedancia, ésta no altera el 0 lógico impuesto por el arduino. Si hubiera cortocircuito entre el pin 16 y el 14 o 15 del conector la lectura de voltaje sería de 0.2 voltios. Si no existe cortocircuito la lectura es de 4.9 voltios. El límite se ajusta a 1.5 voltios.

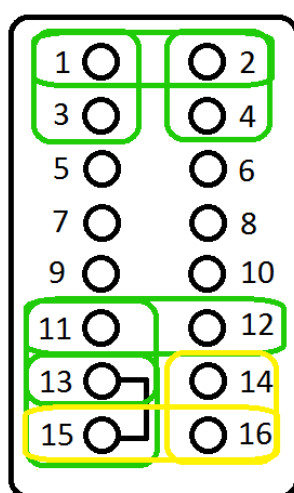
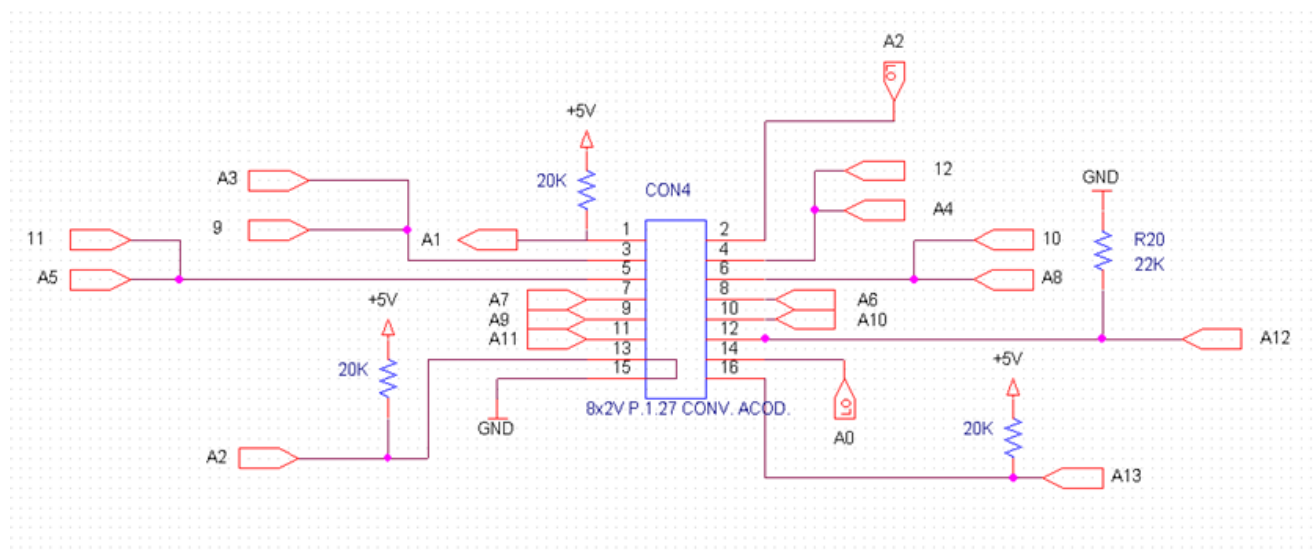


Ilustración 56, comprobación de cortocircuito en pin 16

Si hasta este punto el test es superado, las alimentaciones no tienen ningún cortocircuito directo con tierra. El pin 14 del conector es la salida del sensor, dando un voltaje de 3.3 voltios cuando no hay nada de luz y 0 voltios al estar saturado por luz.

Para continuar verificando el conector, si el pin 14 está cortocircuitado con alguno de los pines, debemos conmutar el relé para que los operacionales de la tarjeta estén alimentados con baja impedancia y proporcione la señal correctamente.

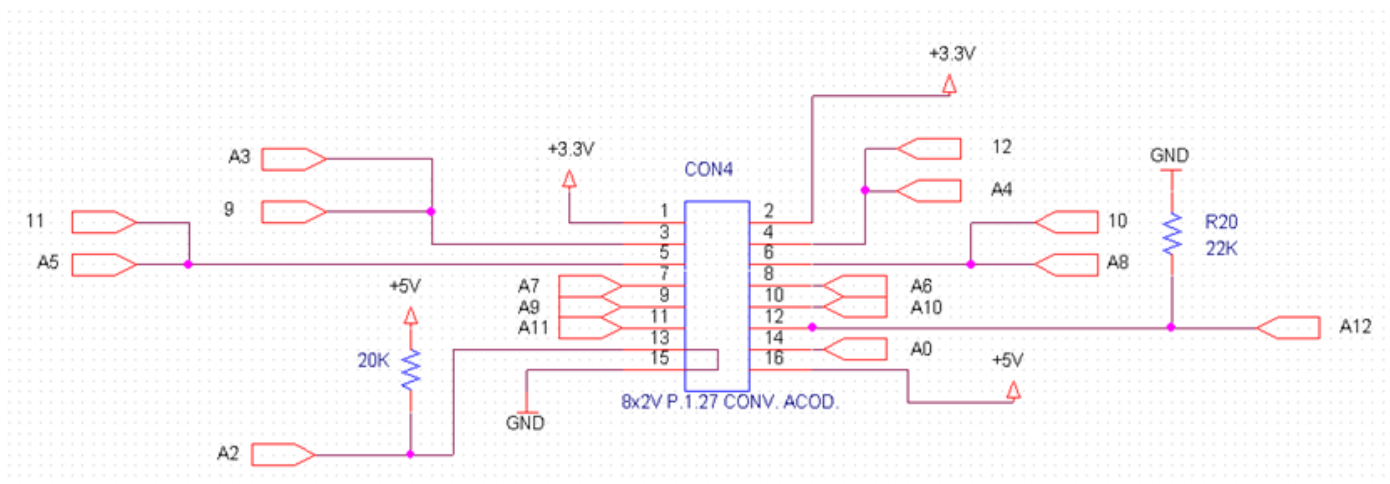


Ilustración 57, alimentación del conector de la tarjeta sensores con relé activado

- Cortocircuito entre pin 14 y los pines 12 y 13 del conector:** Para comprobar si hay cortocircuito entre estos pines, realizo un test algo más complicado que en los casos anteriores. Si no existe cortocircuito, el pin 14 del conector da una medida de 3.3 voltios, pero si se cortocircuita con 0 voltios, la tarjeta a verificar no sufre ningún daño ya que el operacional que hay en la etapa del sensor está protegido contra cortocircuitos. Si existe cortocircuito en el pin 14 con el 12 veríamos una lectura de voltaje de 0.8 voltios y si el cortocircuito es entre el pin 14 y 13 la lectura de voltaje es de 0 voltios. El límite del test se ajusta a 1.5 voltios.

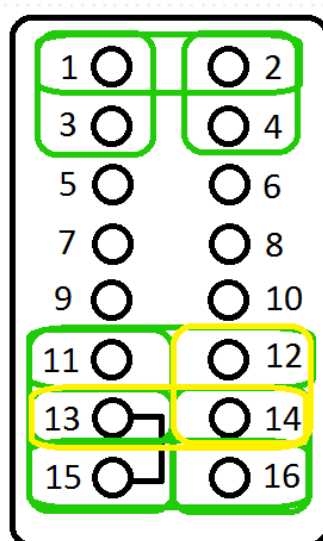
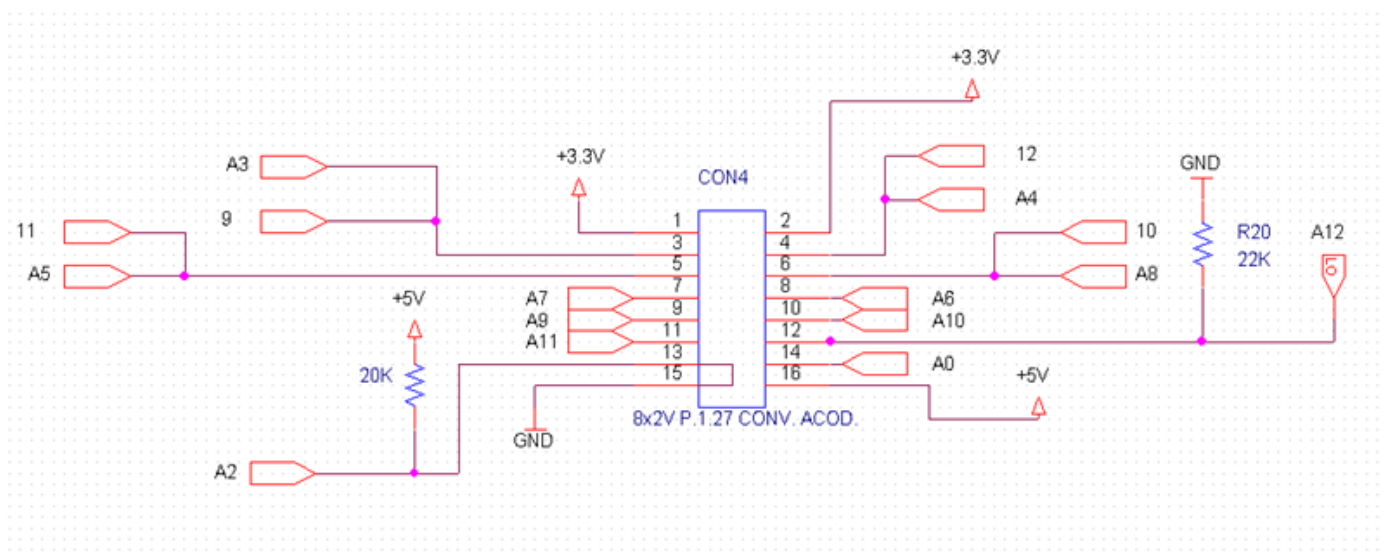


Ilustración 58, comprobación de cortocircuito en pin 14

Los siguientes tests son similares a los anteriores, aunque la desventaja que tenemos es que existen componentes electrónicos por la parte de la tarjeta que nos dificultarán la medida pero aún así seremos capaces de distinguir el cortocircuito.

- Cortocircuito entre pin 4 y los pines 3 y 6 del conector, entre pin 5 y los pines 3,6 y 7 del conector y entre pin 12 y 10 del conector:** Este test se hace a la vez en los tres pines para hacer el test más rápido y sencillo. Defino los pines 4,5 y 12 como entradas con pull up. Los pines 4 y 5 tienen unos condensadores entre los pines y tierra y ya que los he definido como entrada con pull up, esperaré 10 milisegundos a que se carguen para hacer la medida. Una vez que los condensadores están cargados, defino los pines 3, 6,7 y 10 como salidas e introduzco un 0 lógico por ellas. Si en cualquiera de los pines 4,5 o 12 leo un

nivel de voltaje entre 0 y 0.2 voltios, entonces es que hay cortocircuito, de lo contrario leeré un nivel de voltaje de alrededor de 3 voltios por ellos. Ajusto el límite del test a 1.5 voltios para las tres comprobaciones.

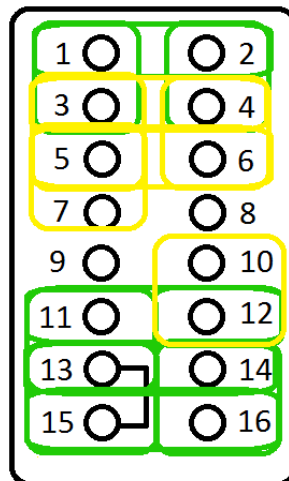
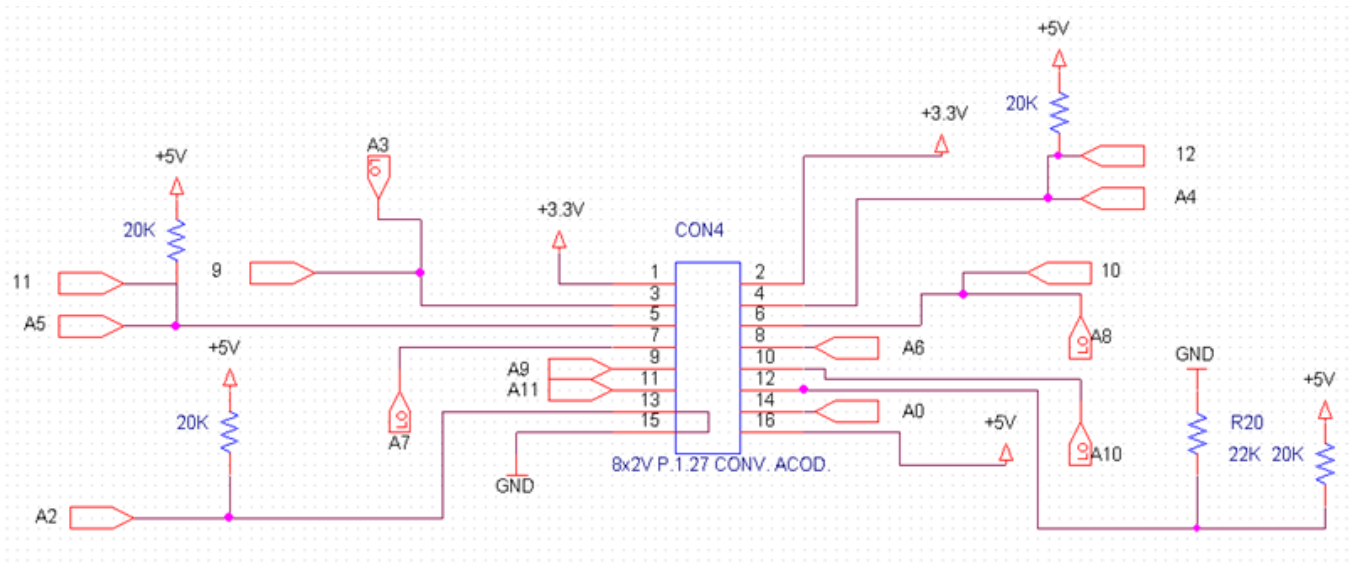


Ilustración 59, comprobaciones de cortocircuito en pines 4,5 y 12

- Cortocircuito entre pin 8 y los pines 6, 7 y 10 del conector y entre pin 9 y los pines 7,10 y 11 del conector:** Los 8 y 9 tienen un pull down a tierra, por lo que para distinguir el cortocircuito, defino los pines 8 y 9 como entradas y los pines contiguos a los pines 8 y 9 (6, 7,10 y 11) como salida e introduzco por ellos un 1 lógico. Si hay cortocircuito con alguno de los pines veremos un nivel de voltaje de alrededor de 4.7 voltios, de lo contrario veremos un nivel de voltaje de 0 voltios debido al pull down al que están conectados internamente los pines del test. Fijo el límite del test a 0.5 voltios para ambos.

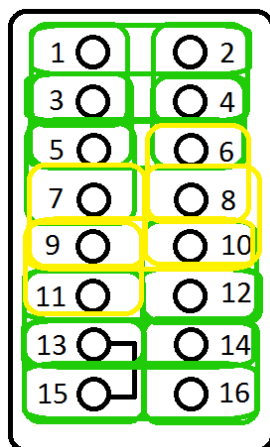
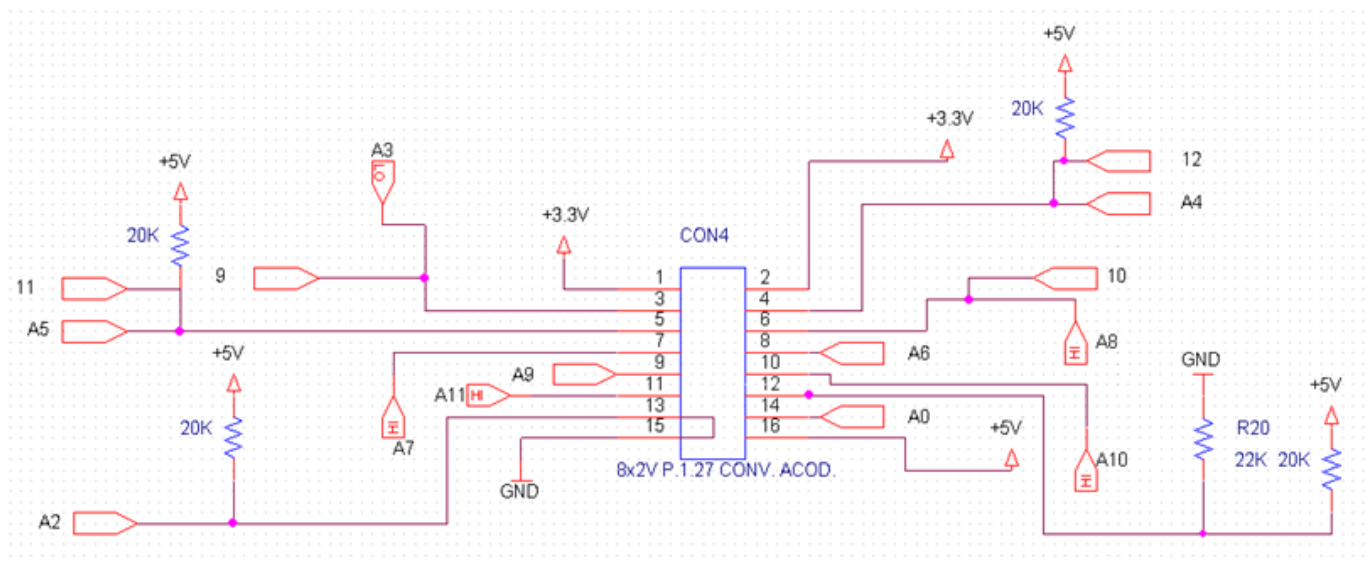


Ilustración 60, comprobaciones de cortocircuito en pines 8 y 9

Finalmente si todos test de cortocircuitos han sido positivos, habremos verificado que no hay cortocircuitos en el conector y podremos proceder a la verificación de la funcionalidad de la tarjeta.

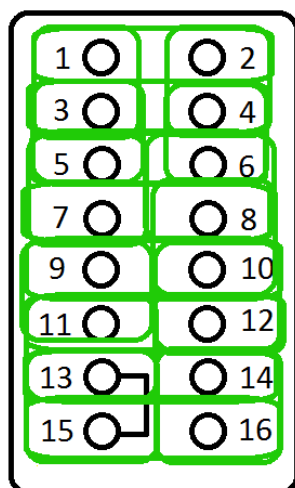


Ilustración 61, test de cortocircuitos superado

6.2.2 TEST DE FUNCIONALIDAD

El test de funcionalidad consiste en tres comprobaciones para cada uno de los 4 LEDs del verificador:

- **Test de iluminación:** esta comprobación consiste en alimentar, con ganancia unidad (máxima), cada uno de los LEDs de manera creciente hasta alcanzar en el sensor dos límites de voltaje (uno a 1 voltio y otro a 2 voltios).

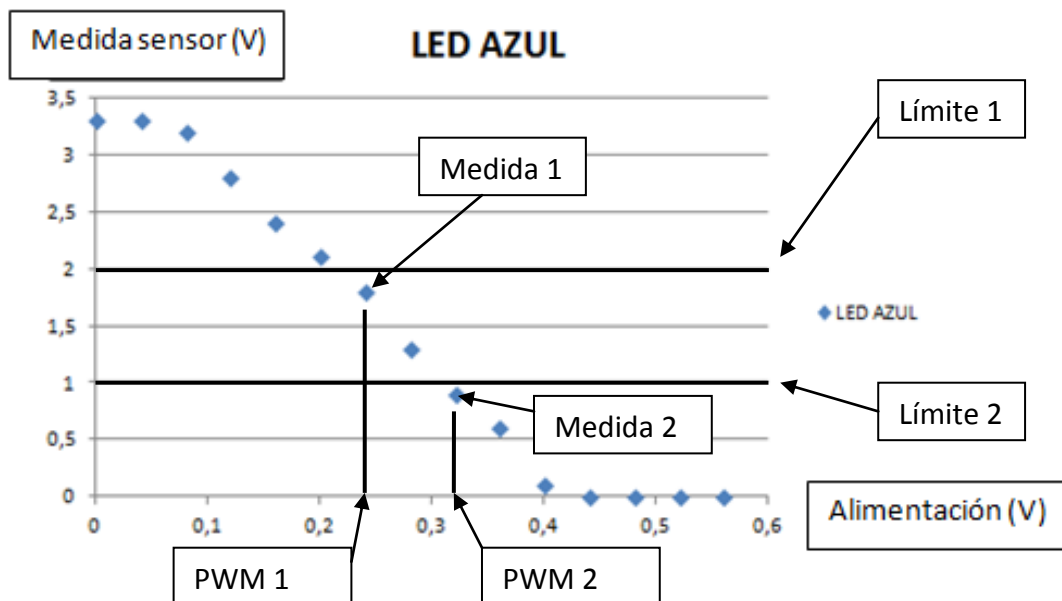


Ilustración 62, test de iluminación de LED de tarjeta sensores

- **Test de ajuste:** consiste en comprobar que la recta de carga del LED sea lineal, para lo cual ajustamos un valor de alimentación de valor medio entre las medidas del test anterior (La mitad entre PWM1 y PWM2). Una vez estabilizada la señal, deberemos leer por el sensor un valor medio de las medidas del test anterior (La mitad entre Medida1 y Medida2). Comparamos la medida que

obtenemos con la teórica y vemos si se encuentra dentro de las tolerancias (30% de desviación).

- **Test de ganancia:** Una vez ajustada la recta, para la alimentación del test anterior, se ajustan tres valores de ganancia distintos y comparamos la medida que obtenemos con la teórica vemos y si se encuentra dentro de las tolerancias (30% de desviación).

6.3 DATALOG

Como hemos anunciado antes, el verificador contará con un datalog para cargar y descargar los datos de los tests de las tarjetas a verificar.

6.3.1 ESTRUCTURACIÓN

El datalog consta de los siguientes documentos:

- **ULTIMO:** archivo de texto en el cual solamente queda guardado el nombre del último O.F. creado.
- **ARCHIVO E.CSV (EXCEL):** archivo que tiene como nombre el número del O.F. y una “E” al final. Por ejemplo el O.F. “1234567” tendrá el archivo “1234567E.CSV”. En este archivo se guardarán las medidas de los test superados, para ser analizados en Excel.
- **ARCHIVO D.TXT (DATALOG):** archivo que tiene como nombre el número del O.F. y una “D” al final. Por ejemplo el O.F. “1234567” tendrá el archivo “1234567D.TXT”. En este archivo se guardarán las medidas de los test no superados y los errores detectados.

```

TEST
DATE:5/6/2015 9:21:42
tarjetaERROR.
ERROR EN LED ROJO, PWM.
*****MEDIDAS*****
TEST CORTOCIRCUITOS
CONEX GND:0.12<0.73 VOLTIOS
PIN 1:1.60>0.49 VOLTIOS
PIN 4:2.88>0.49 VOLTIOS
PIN 11:2.04>0.98 VOLTIOS
PIN 16:4.97>1.47 VOLTIOS
PIN 14:2.53>0.98 VOLTIOS
PIN 12:0.03<0.24 VOLTIOS
PIN 4(BI):3.87>1.47 VOLTIOS
PIN 5:3.05>1.47 VOLTIOS
PIN 12(BI):2.17>0.98 VOLTIOS
PIN 8:0.04<0.29 VOLTIOS
PIN 9:0.10<0.32 VOLTIOS

TEST FUNCIONES
MARGEN DE ERROR PARA TEST AJUSTE Y GANANCIA:+-30.00%

LED ROJO:
PWM: 101<100 0<100
AJUSTE: 0<+-30.00
GANANCIA: 0<+-30.00 0<+-30.00 0<+-30.00

LED AZUL:
PWM: 9<100 18<100
AJUSTE: -17<+-30.00
GANANCIA: 0<+-30.00 1<+-30.00 25<+-30.00

LED IR:
PWM: 40<100 69<100
AJUSTE: 5<+-30.00
GANANCIA: 0<+-30.00 -2<+-30.00 9<+-30.00

LED HIR:
PWM: 21<100 36<100
AJUSTE: -4<+-30.00
GANANCIA: 5<+-30.00 3<+-30.00 12<+-30.00
*****

```

- ARCHIVO R.TXT (RESUMEN): archivo que tiene como nombre el número del O.F. y una "R" al final. Por ejemplo el O.F. "1234567" tendrá el archivo "1234567R.TXT". En este archivo se guardarán los datos del O.F. (tarjetas ok, tarjetas error, errores...). Este archivo se abrirá y cargará si el usuario decide abrir este O.F.

```

TARJETASOK:113
TARJETASERROR:15
PIN 13,15 CONEX:0
CORTOCIRCUITO:6
ERROR_LR_PWM:4
ERROR_LR_AJUSTE:0
ERROR_LR_GAN:2
ERROR_LA_PWM:0
ERROR_LA_AJUSTE:0
ERROR_LA_GAN:1
ERROR_LI_PWM:0
ERROR_LI_AJUSTE:0
ERROR_LI_GAN:3
ERROR_LH_PWM:1
ERROR_LH_AJUSTE:0
ERROR_LH_GAN:3

```





Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
 1310000D.TXT	05/06/2015 13:16	Documento de tex...	14 KB
 1310000E.CSV	12/06/2015 12:20	Archivo de valores...	17 KB
 1310000R.TXT	12/06/2015 12:20	Documento de tex...	1 KB
 ULTIMO.TXT	15/06/2015 10:28	Documento de tex...	1 KB

Ilustración 63, archivos creados por el O.F. "1310000"

6.3.2 ESCRITURA DE DATOS

Al finalizar la verificación de una tarjeta electrónica, si el test es superado se escriben las medidas del test en el archivo de Excel y de lo contrario en el archivo de texto. Independientemente de que el test se supere o no se actualiza el archivo "RESUMEN".

6.3.3 LECTURA DE DATOS

Si cargamos un O.F. creado con anterioridad, el verificador actualizará el archivo "ULTIMO" con el O.F. elegido y cargará al iniciar el programa los datos del archivo "RESUMEN" para continuar actualizando los datos de los tests siguientes.

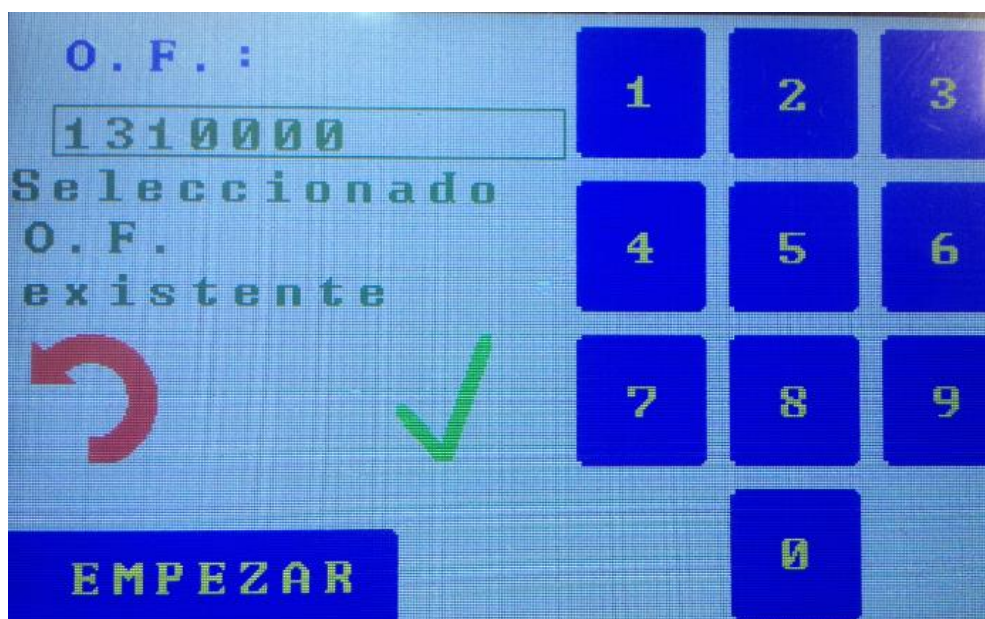


Ilustración 64, selección de un O.F. existente

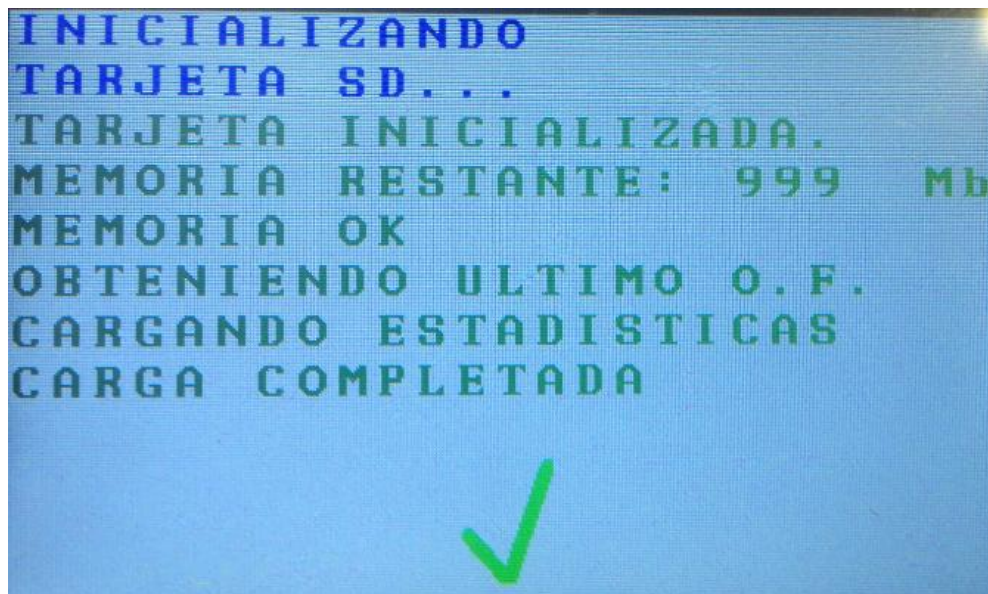


Ilustración 65, lectura de los datos del O.F. seleccionado

La manera de leer los datos de la tarjeta SD es sencillo:

```
dataFile = SD.open(archivoR, FILE_READ); //SI LEE EL ARCHIVO DEVUELVE EL VALOR "1"
if (dataFile) {
  myGLCD.print("CARGANDO ESTADISTICAS", LEFT, y); //ESCRIBE EN LA PANTALLA EL MENSAJE
  y += 20; //SIGUIENTE LINEA DE ESCRITURA
  while (dataFile.available()) { //MIENTRAS HAYA LETRAS POR LEER
    cont = 0; //PONGO CONTADOR A CERO
    character = dataFile.read(); //LECTURA DEL SIGUIENTE CARACTER
    if (character == 58) { //SI LEEMOS CARACTER 13=":", LEEMOS LO QUE VIENE DESPUES
      character = dataFile.read(); //LECTURA DEL SIGUIENTE CARACTER
      while (character != 13 && dataFile.available()) { // CARACTER 13=CAMBIO LINEA
        data[r] = (data[r]) * 10 + character - 48; //VALOR "0" EN ASCII ES "48"
        character = dataFile.read(); //LECTURA DEL SIGUIENTE CARACTER
      }
      r++; //VOY A LA SIGUIENTE POSICION DEL VECTOR DE DATOS
    }
  }
}
```

El verificador en primer lugar abre el archivoR (archivo Resumen) y lo indica en la pantalla. Mientras haya caracteres por leer el verificador barre todas las letras del documento hasta encontrar el carácter ":", que indica que lo siguiente es un dato (véase ilustración del archivo "RESUMEN"). La lectura de los datos acaba cuando se hayan leído todos los caracteres del documento.

6.3.4 FECHA Y HORA

Como se ha explicado anteriormente, se dispone de un módulo RTC para guardar la fecha y la hora en todo momento, incluso cuando el arduino no está

alimentado. Se trata de módulo I2C, por lo que está conectado al pin de SDA y SCL y se controla con librerías.

Cuando el verificador ejecuta un programa en el que hay que introducir la fecha y la hora (página principal, al escribir en el datalog...), se actualiza la fecha de el arduino desde el módulo RTC.

6.3.4.1 AJUSTE FECHA Y HORA

Si en la interfaz accedemos al menú de “ajuste de fecha de hora”, se introducirá a mano la fecha y/o la hora (en las variables “year”, “month”, “day”, “hour”, “minute”, y “second”).

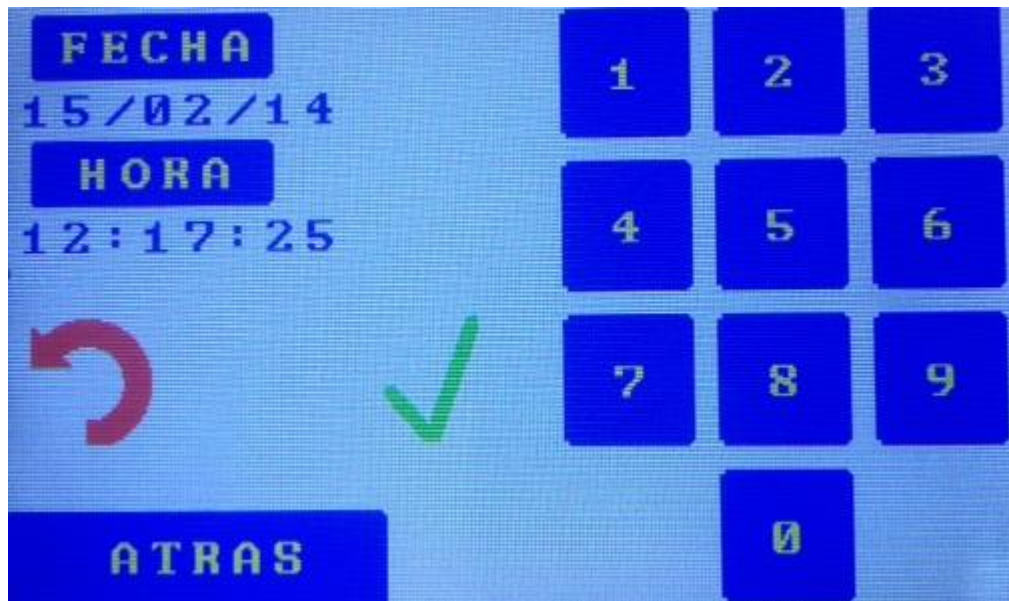


Ilustración 66, página de ajuste de fecha y hora

En el momento en el que se pulse el botón de actualizar, la fecha introducida se transfiere al módulo RTC mediante la siguiente subrutina:

```
RTC.adjust(DateTime(year, month, day, hour, minute, second));
```

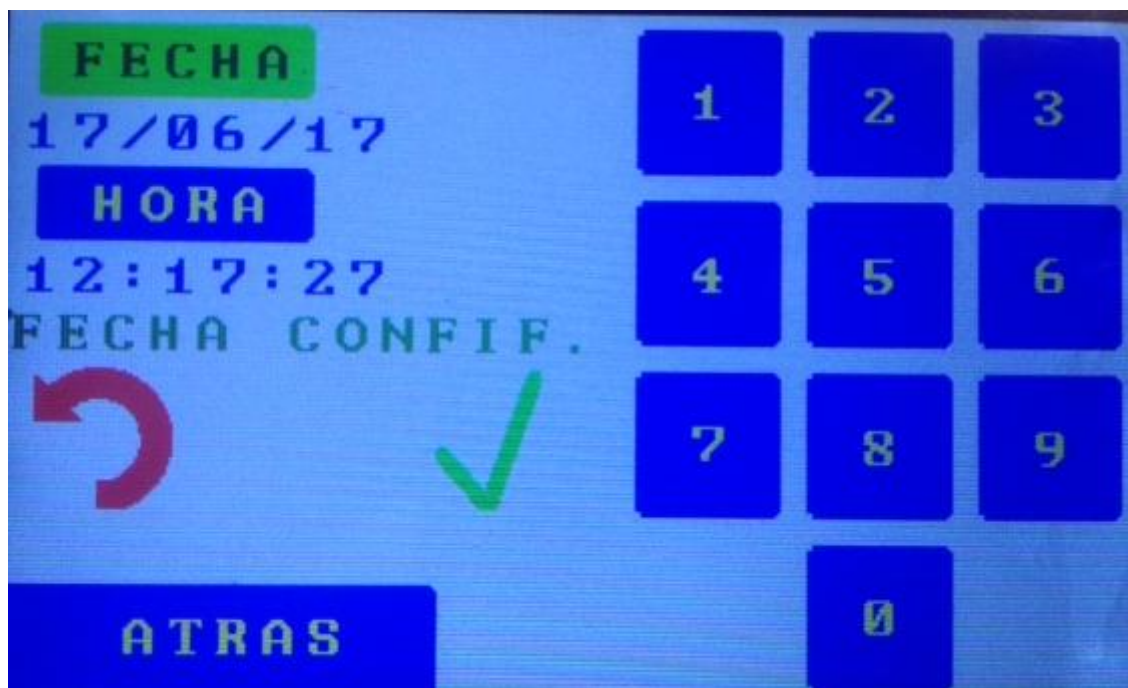


Ilustración 67, realización de ajuste de fecha y hora

6.3.5 ESTADÍSTICAS

Para corregir errores en la fase de producción, conviene hacer un análisis estadístico de los errores detectados en la verificación con sus respectivos porcentajes como viene mostrado en la siguiente figura.

TEST	CANTIDAD	%
TEST OK:	113	88.28
TEST ERROR:	15	11.72
ERRORES	CANTIDAD	%
CORTOCIRCUITO:	6	4.69
ERROR_LR_PWM:	4	3.13
ERROR_LI_GAN:	3	2.34
ERROR_LH_GAN:	3	2.34
ERROR_LR_GAN:	2	1.56
ERROR_LA_GAN:	1	0.78

Ilustración 68, pantalla de estadísticas del O.F. actual

6.4 DIAGRAMAS DE FLUJO DE LOS VERIFICADORES

La mayoría del programa es común en los dos programas, de hecho los diagramas de flujo son prácticamente idénticos. Una de las pocas cosas que cambian entre un verificador y el otro es, obviamente, el test para comprobar que la tarjeta funciona correctamente debido a que tienen un hardware muy distinto.

Por lo tanto a continuación muestro los diagramas de flujo principales y los diagramas de los test de ambos verificadores por separado.

El código de los siguientes diagramas de flujo es muy denso, por lo que se adjunta el mismo en un documento a parte

6.4.1 PROGRAMA DE INICIO

Al iniciar cualquiera de los verificadores, lo primero que hace el programa es incluir las librerías del programa, definir las variables del mismo e inicializar los módulos del reloj en tiempo real (RTC) y la pantalla.

Una vez que está todo inicializado, se procede a mostrar el logo de Azkoyen durante unos segundos. A continuación se procede a una calibración de la pantalla simplemente para tener la seguridad de que la pantalla funciona.

Pasada ya la calibración de la pantalla, el verificador se intenta conectar con la tarjeta SD de la pantalla TFT táctil. Si consigue conectar, pasaremos a una página de introducción del orden de producción (O.F.) para guardar los datos del mismo y pasaremos a la página principal del verificador. Si no se conecta con la tarjeta, pasaremos directamente a la página principal, aunque aparecerá un mensaje de introducir la tarjeta SD y reiniciar el verificador (esta opción se deja para que si se quiere muestrear alguna tarjeta en concreto, que el verificador no te obligue a introducir un O.F. y guardar los datos.

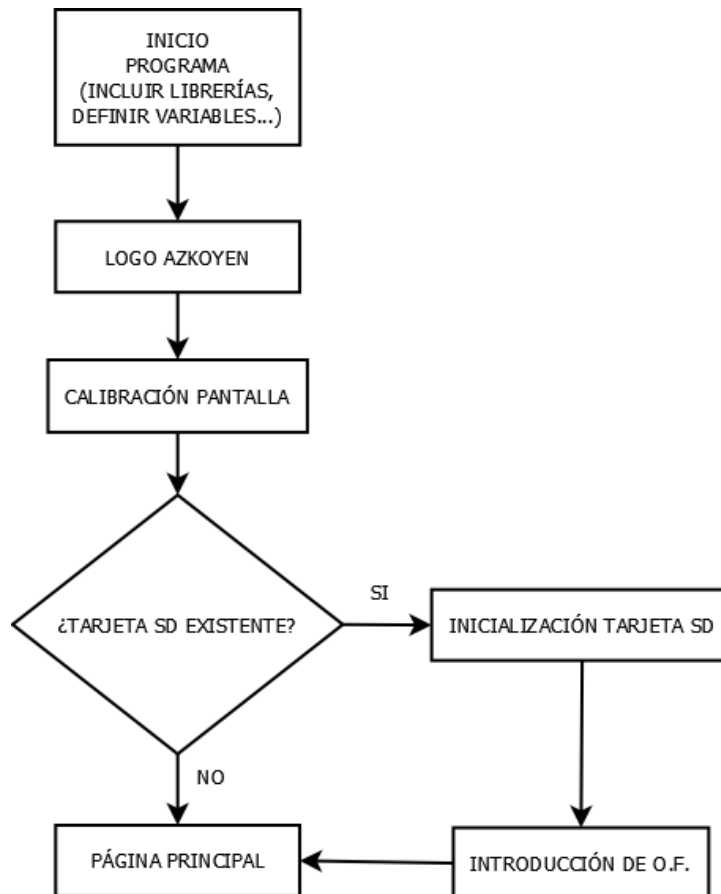


Ilustración 69, diagrama de flujo de inicio de programa

6.4.2 CALIBRACIÓN PANTALLA

Para comprobar que la pantalla táctil funciona correctamente (para que si en un tiempo se estropea, se detecte el error antes de entrar en el programa de verificación), se hace un test que consiste en pulsar un círculo dibujado en un lateral durante un tiempo determinado (cuando se presiona el círculo se rellena la barra de la izquierda en figura, si se deja de presionar la barra baja).

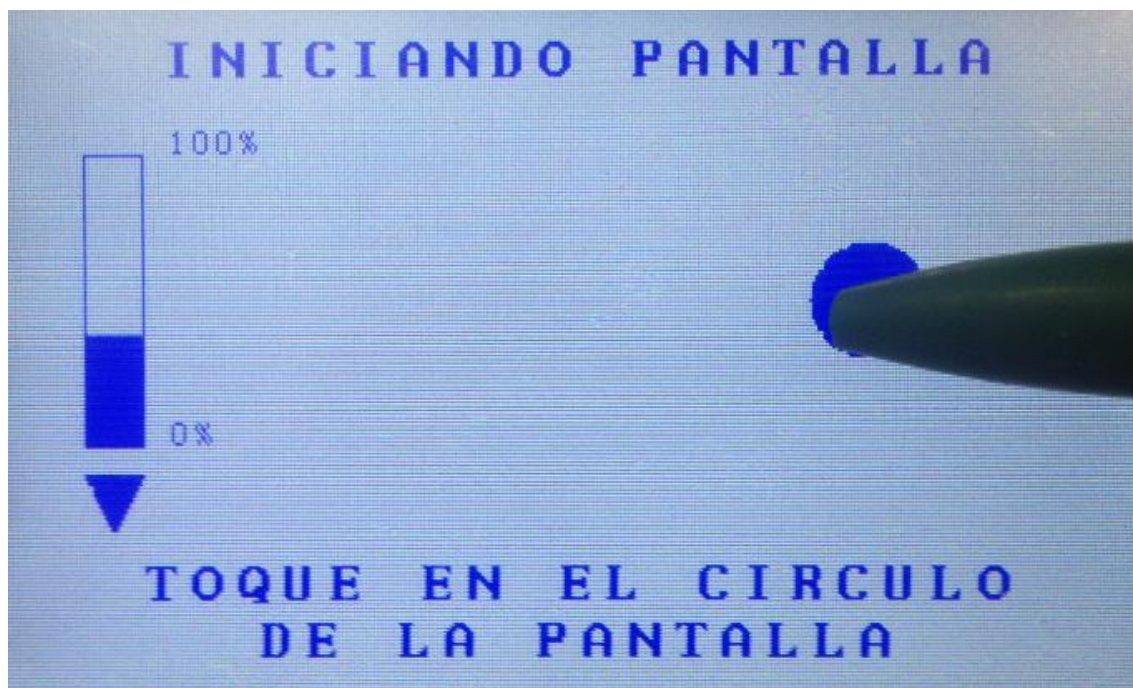


Ilustración 70, comprobación del funcionamiento de la pantalla táctil

6.4.3 PÁGINA PRINCIPAL

Una vez que nos encontremos en la página principal del verificador, en cualquier momento podemos pulsar el botón de “MENU” en la pantalla. El verificador comprueba si hay alguna tarjeta conectada y si la hay, mira si se está pulsando el botón de “TEST” en la pantalla se pasa al programa de realizar el test.

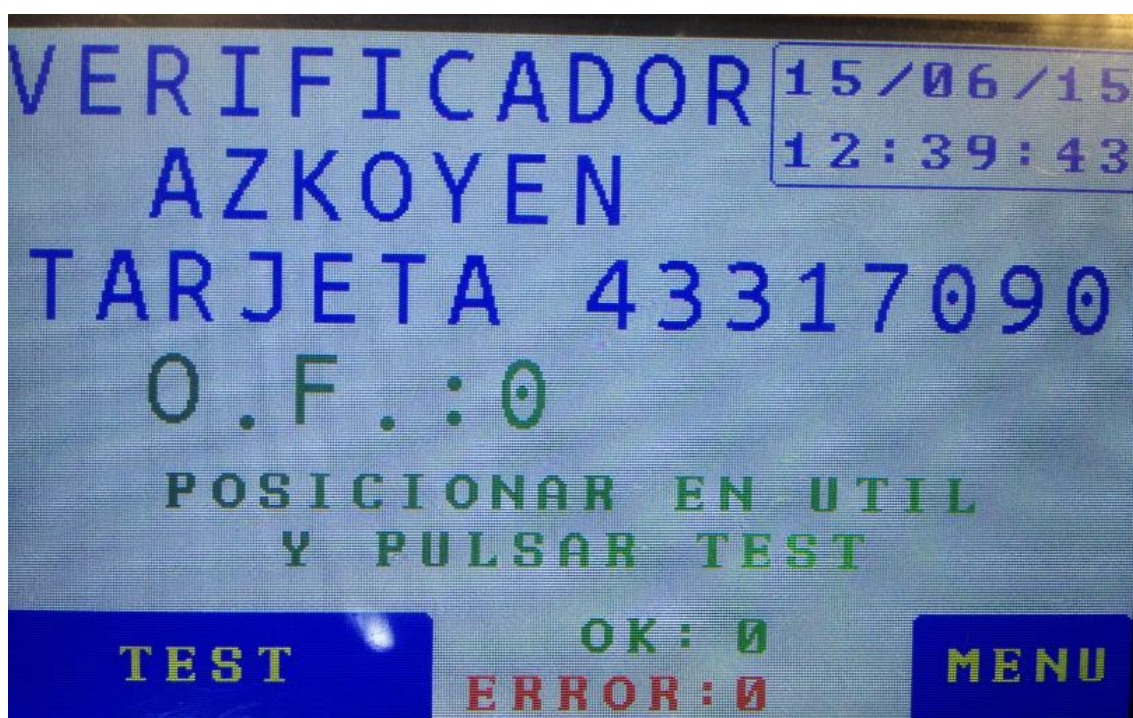


Ilustración 71, página principal de los verificadores

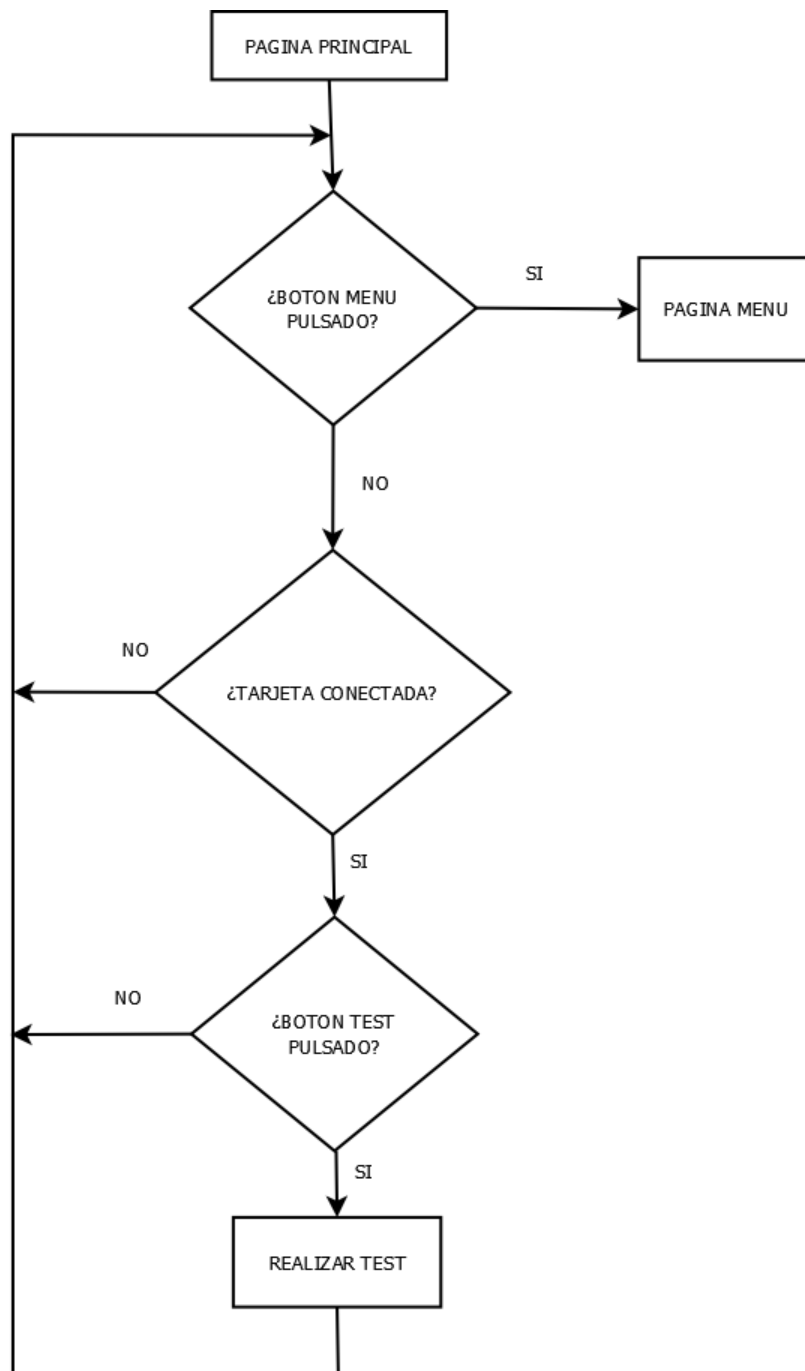


Ilustración 72, diagrama de flujo del test de los verificadores

6.4.4 REALIZAR TEST

Para realizar el test, antes de comprobar que la tarjeta funciona correctamente, debemos asegurarnos de que no haya cortocircuitos en el conector, ya que si los hubiera, podríamos dañar la tarjeta a verificar o incluso el arduino. Si se detecta algún cortocircuito en el conector el test no continuará por razones de seguridad y cargaremos la página de resultados mostrando el error. Si el test de cortocircuitos da “OK” continuaremos con el de funcionalidades y finalmente cargaremos la pantalla de resultados mostrando los errores que se hayan detectado.

Una vez en la página de resultados, cuando se desconecta la tarjeta el verificador automáticamente guarda los datos en la tarjeta SD y vuelve a la página principal. Si el usuario quiere repetir el test puede hacerlo sin necesidad de guardar los datos (puede que se haya introducido mal la tarjeta o que simplemente se quiera cerciorar del resultado del test).

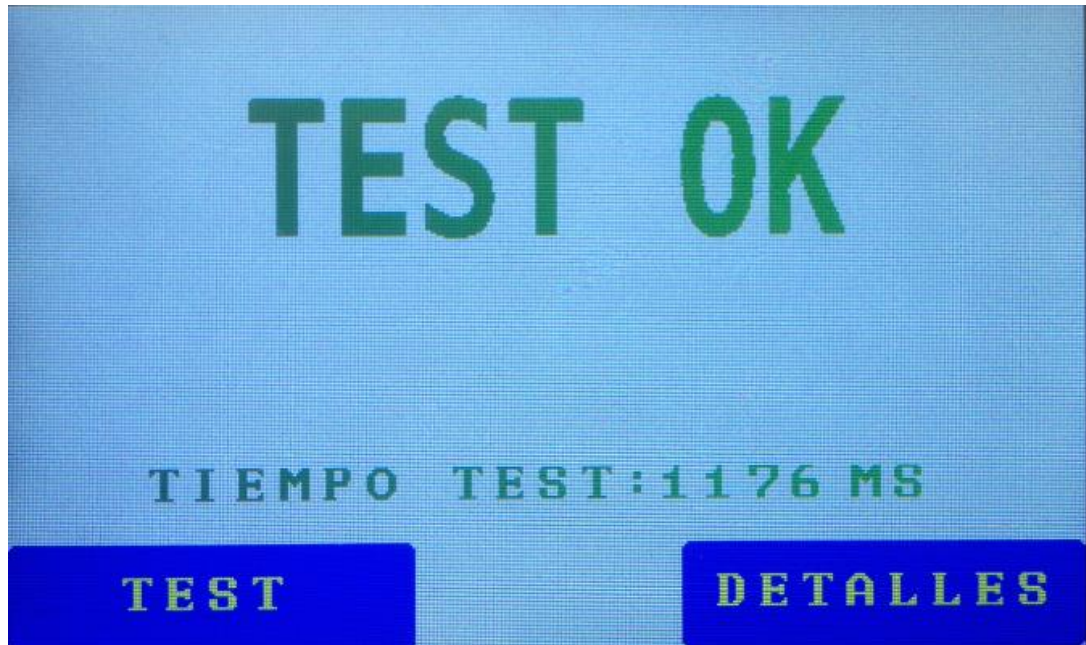


Ilustración 73, página de resultados del test de los verificadores

Al terminar el test si el usuario presiona el botón “DETALLES” se irá a una página donde se muestran todos los resultados de las medidas del test y qué valores límite tienen las mismas, así como una indicación en verde si cumple la condición de la medida o en rojo si no.

TEST CORTOCIRCUITOS		TEST FUNCIONES margen:30%			
CONEX GND:	0.1<0.7 V	LED ROJO:			
PIN 1:	1.3>0.5 V	PWM:	7	<100	21 <100
PIN 4:	2.7>0.5 V	AJUSTE:			3
PIN 11:	1.8>1.0 V	GANANCIA:	1	0	3
PIN 18:	4.9>1.5 V	LED AZUL:			
PIN 14:	1.9>1.0 V	PWM:	8	<100	19 <100
PIN 12:	0.0<0.2 V	AJUSTE:			-2
PIN 4 (BI):	3.7>1.5 V	GANANCIA:	0	0	1
PIN 5:	3.1>1.5 V	LED IR:			
PIN 12 (BI):	2.2>1.0 V	PWM:	18	<100	49 <100
PIN 8:	0.0<0.3 V	AJUSTE:			2
PIN 9:	0.0<0.3 V	GANANCIA:	0	0	1
		LED HIR:			
		PWM:	10	<100	28 <100
		AJUSTE:			-1
		GANANCIA:	0	0	1

Ilustración 74, página de resultados del test del verificador de tarjeta sensores

En la ilustración anterior se pueden observar los detalles del test de la tarjeta sensores (similar a los detalles de la tarjeta distribución). Para la interpretación de los datos de los detalles, en la columna de la izquierda están los resultados del test de cortocircuitos (nombre del test, medida y límite impuesto por el usuario en voltios). Si se cumple la condición del test aparecerá dibujado en verde y de lo contrario en rojo.

La interpretación de los datos del test de los LEDs es más complicada. Para cada uno de los LEDs hay un test de PWM, otro de ajuste y otro de ganancia (explicados en el apartado 1.3.1). Para la primera medida del PWM se muestra el porcentaje de alimentación proporcionada al circuito (ejemplo: si el límite son 2 voltios para la alimentación y si el límite determinado fue alcanzado con 1 voltio, el resultado será 50), para el ajuste y la ganancia se muestra la desviación en porcentaje de la medida real frente a la teórica.

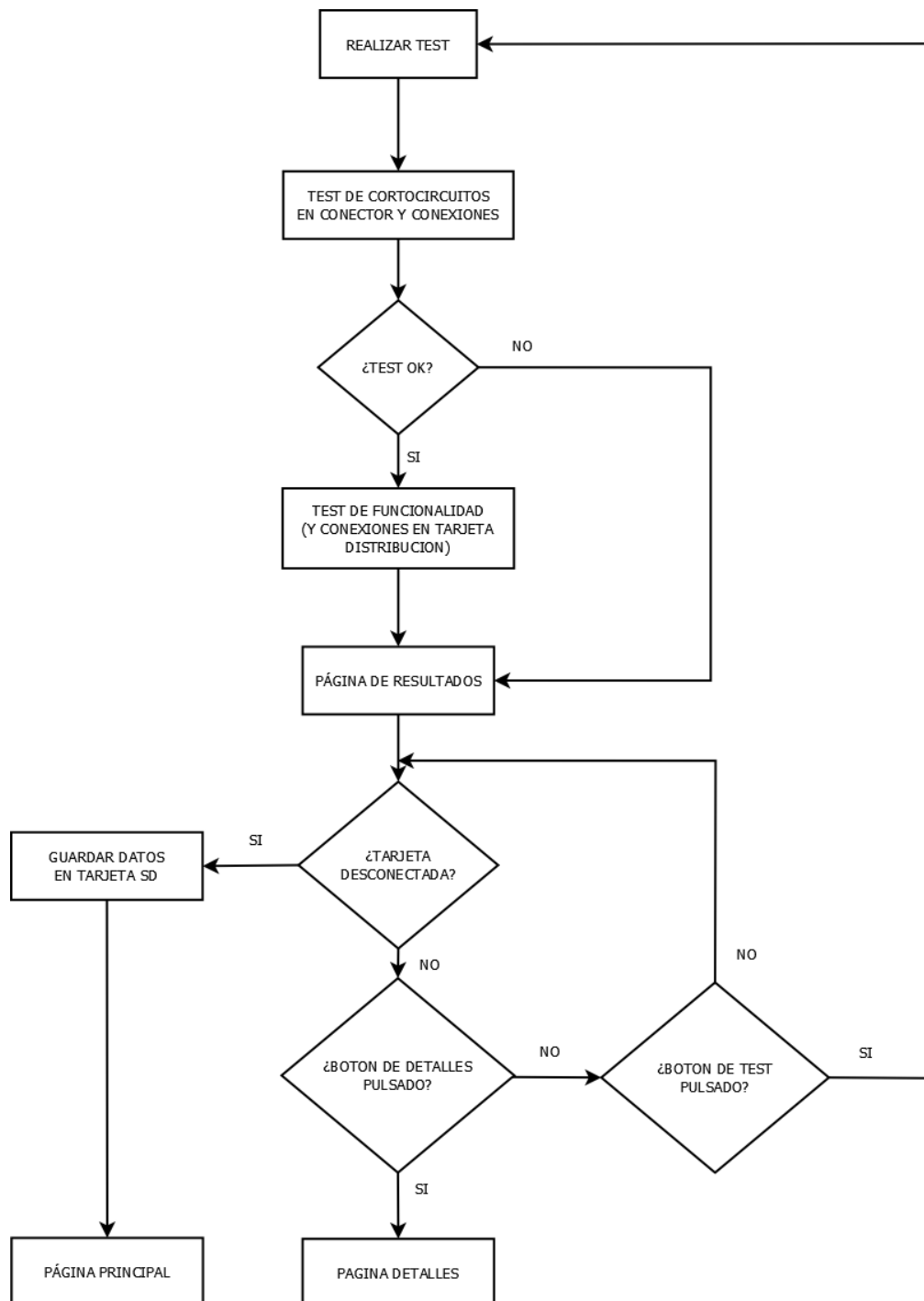


Ilustración 75, diagrama de flujo del test de los verificadores

6.4.5 TEST DE CORTOCIRCUITOS DE LOS CONECTORES DE LA TARJETA DISTRIBUCIÓN

En el test del conector de la tarjeta de distribución, todos los pines de los conectores tienen una “identidad”, determinada por los pines de los multiplexores. Los pines están numerados del 0 al 127 (algunos de los pines están al aire ya que

solamente hay 110 pines). El test comienza alimentando la tarjeta con alta impedancia para que, en caso de cortocircuito, no solo sea detectable sino que también como medida de seguridad (ya que la intensidad que circula puede dañar la tarjeta electrónica que deseamos testear o incluso peor, nuestro microcontrolador).

El test consiste en barrer todos los pines y ver si tienen cortocircuito con algún pin contiguo o si alguno de los pines de alimentación de los conectores está mal soldado. Si el pin a testear es un pin de alimentación, compruebo con una medida analógica que la medida de voltaje corresponda (más de 4.5 voltios en caso de ser VCC y menos de 1 voltio en caso de ser GND). Si el pin a testear no es de alimentación, pongo un pull up con arduino en el pin y pongo a nivel bajo de voltaje los pines contiguos. De esta manera, si alguno de los pines está cortocircuitado, veré en la medida analógica un nivel bajo de voltaje.

Si el test de cortocircuitos de los conectores es OK se procederá al test de conexiones de la tarjeta de distribución.

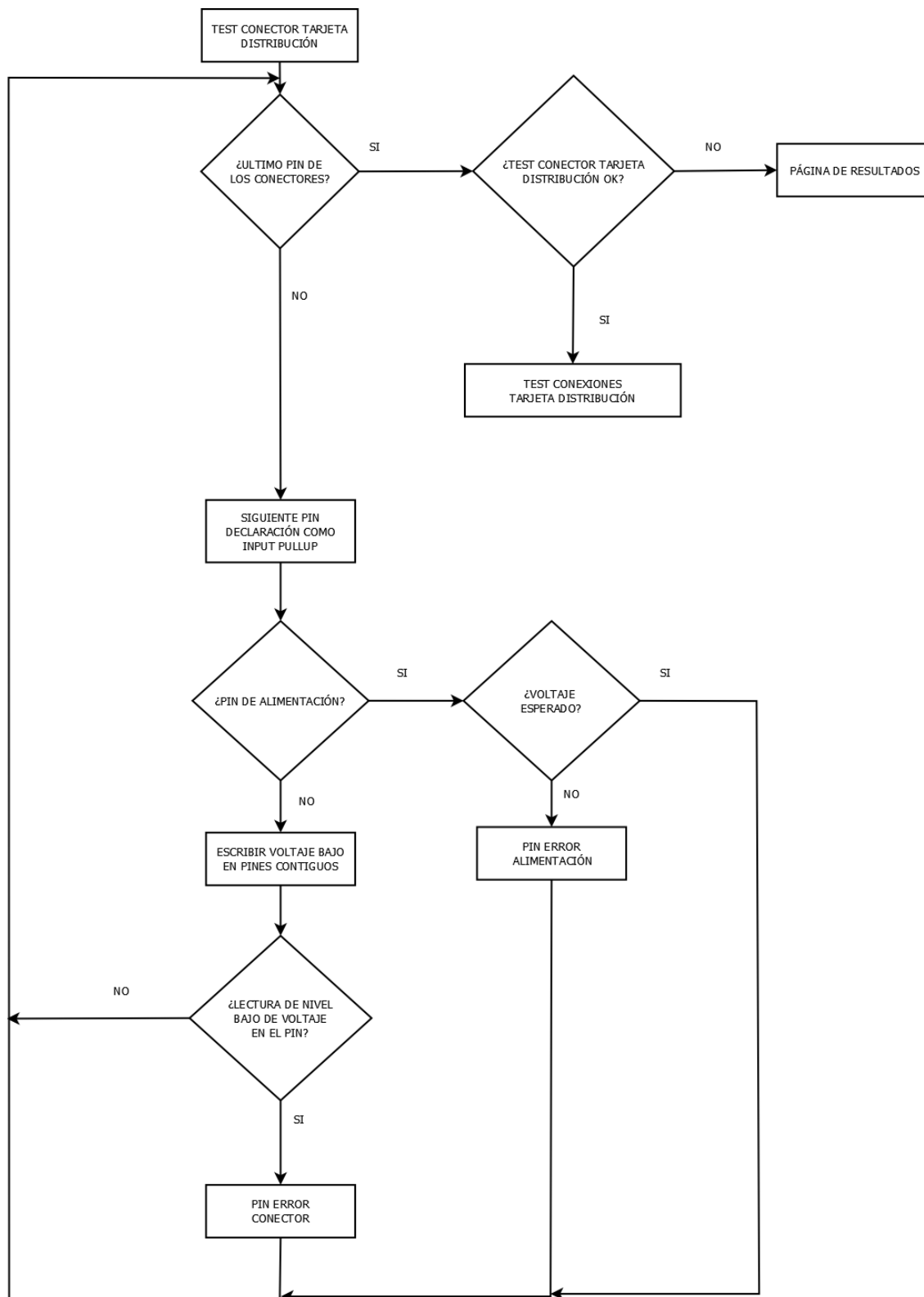


Ilustración 76, diagrama de flujo del test de tarjeta distribución

6.4.6 TEST DE CONEXIONES DE LA TARJETA DE DISTRIBUCIÓN

La tarjeta de distribución de señales, como ya se ha comentado, sirve de interfaz entre varias tarjetas del módulo de admisión del módulo de billetes. Para asegurarnos la tarjeta funciona correctamente como interfaz, haremos un test que

consistirá en introducir una señal por los pines del conector y deberemos recibirla por cada pin correspondiente que hace conexión.

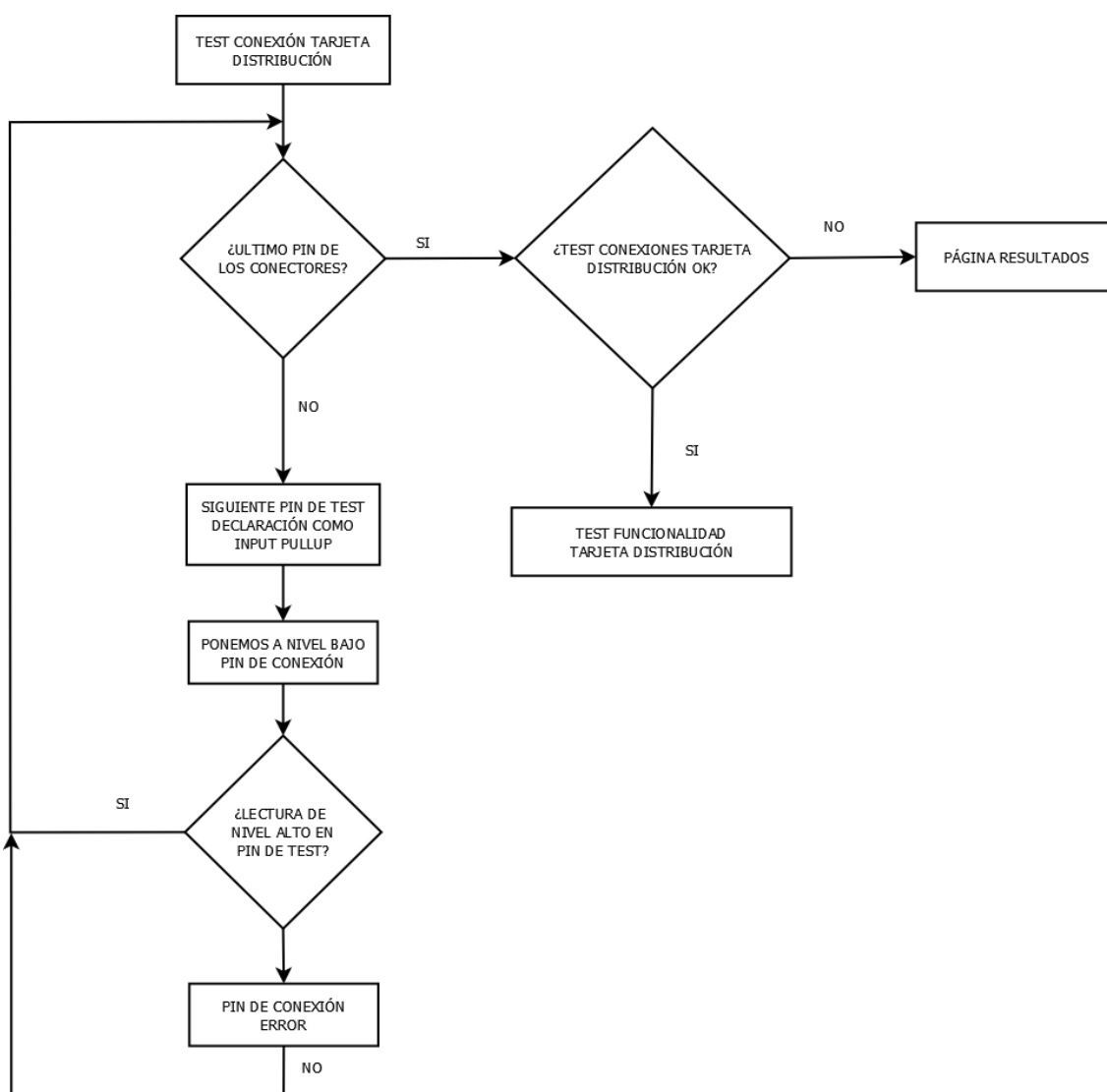


Ilustración 77, diagrama de flujo del test de conexiones de tarjeta distribución

6.4.7 TEST DE FUNCIONALIDAD DE LA TARJETA DISTRIBUCIÓN

El test de funcionalidad de la tarjeta distribución consiste en comprobar el correcto funcionamiento de un encoder, de unos LEDs indicadores y de unos condensadores.

Para ver si hay errores en el encoder, primero se hace una primera prueba de voltaje de alimentación para asegurarnos el correcto funcionamiento del encoder. Si hay una lectura que corresponda al nivel de voltaje teórico, hacemos girar el motor y esperamos hasta ver un determinado número de pulsos, o en caso de no detectar el número de pulsos esperado después de un tiempo prefijado, damos error en el encoder y proseguimos con el test.

Una vez hecha la comprobación del encoder, continuamos con el test de los LEDs indicadores de estado y con el test de descarga de la batería de condensadores como indica el siguiente diagrama de flujo.

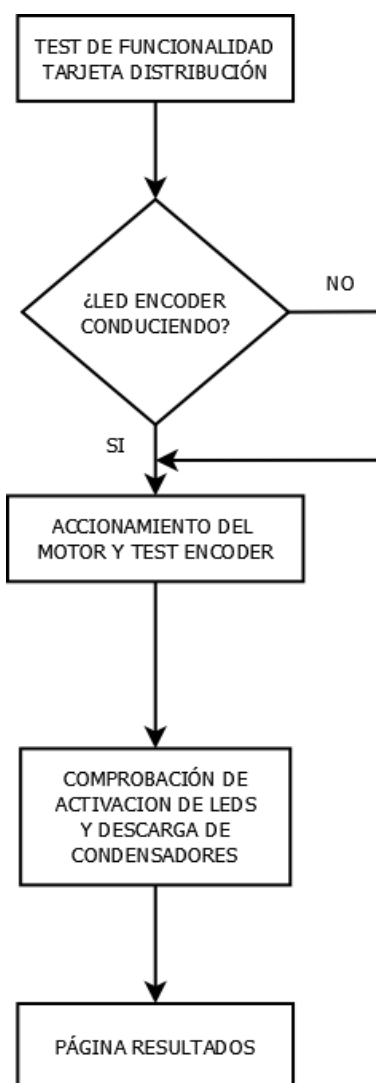


Ilustración 78, diagrama de flujo del test de funcionalidad de la tarjeta distribución

6.4.8 TEST DE CORTOCIRCUITOS DEL CONECTOR DE LA TARJETA SENSORES

El test de cortocircuitos de la tarjeta de sensores consiste en un test similar al de la tarjeta de distribución aunque más sencillo ya que solamente tenemos 16 pines.

El test comienza alimentando la tarjeta con baja impedancia por si hay cortocircuito en el conector. Se comprueba que las alimentaciones no tengan cortocircuitos y entonces se procede a activar el relé para pasar a alimentar la tarjeta con alta impedancia. Si hubiera un cortocircuito entre alguno de los pines restantes no correríamos peligro ya que internamente los pines de la tarjeta tienen pull ups y pulldowns.

Si el test del conector la tarjeta es OK procedemos al test de funcionalidad.

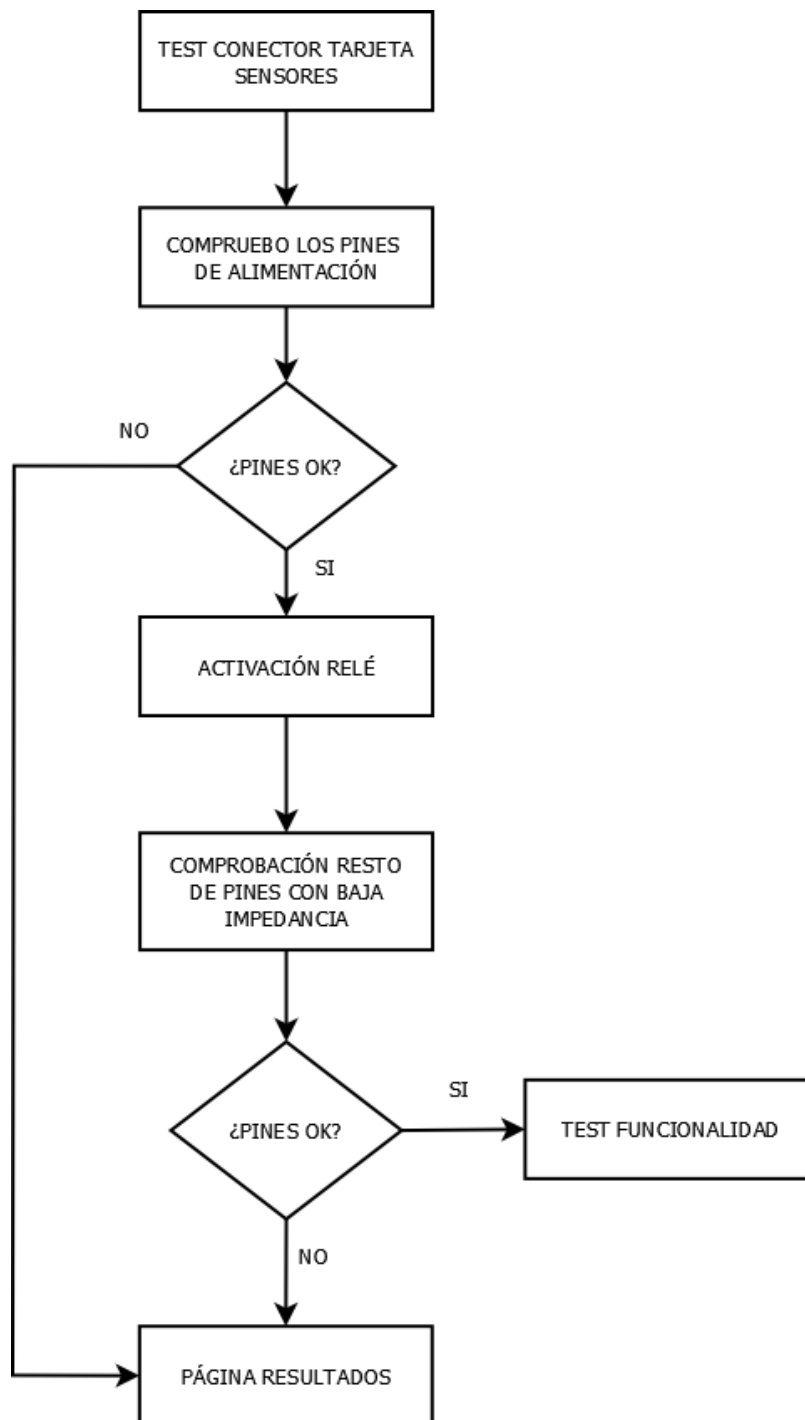


Ilustración 79, diagrama de flujo del test de conexiones de la tarjeta sensores

6.4.9 TEST FUNCIONALIDAD TARJETA SENSORES

El test de funcionalidad de la tarjeta de sensores se compone de tres comprobaciones para cada LED: comprobación de activación, de ajuste y ganancia.

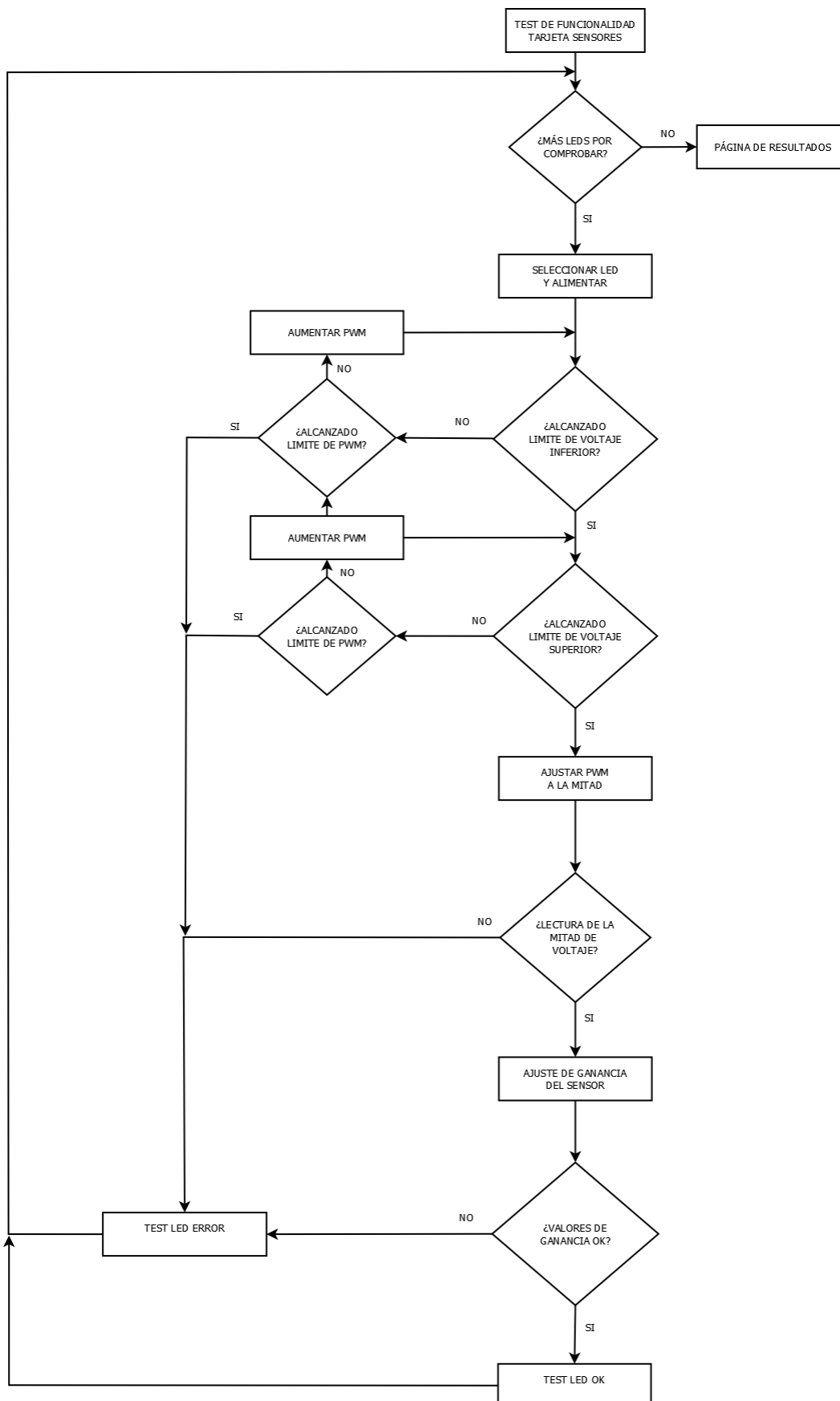


Ilustración 80, diagrama de flujo del test de funcionalidad de la tarjeta sensores

6.4.10 MENU

Si hemos seleccionado la página de “MENÚ”, accederemos a una simple pantalla con cinco botones.

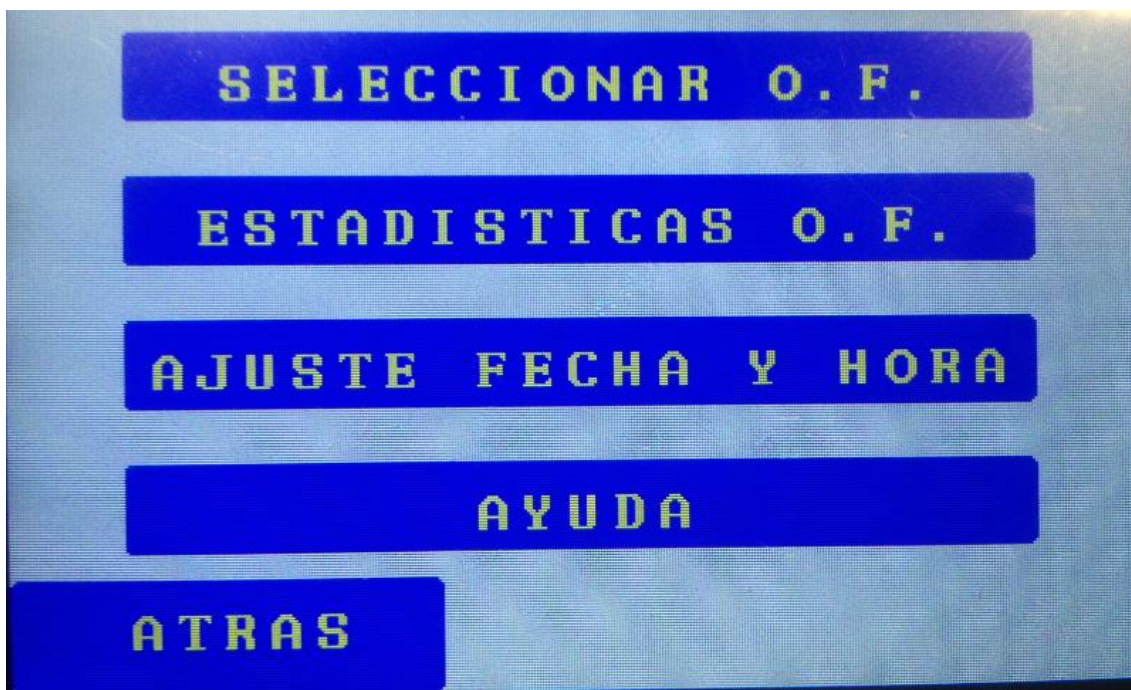


Ilustración 81, menú de los verificadores

- “ATRÁS”: si pulsamos este botón iremos de vuelta a la página principal.
- “SELECCIONAR O.F.”: accederemos a una página para crear nuevos órdenes de fabricación o para cargar alguno existente.
- “ESTADÍSTICAS O.F.”: una vez que tenemos un orden de fabricación verificado, podemos realizar un sencillo análisis estadístico de las tarjetas ok y error, con sus correspondientes porcentajes, así como de los errores que se han detectado.
- “AJUSTE FECHA Y HORA”: puede que la fecha y la hora del módulo no sea exactamente la que marca (debido a pequeñas desviaciones o simplemente porque se ha agotado la batería del mismo... etc), así que en este programa se puede reajustar la fecha y la hora para que aparezca actualizada en el datalog.
- “AYUDA”: el usuario cuenta ya con una “instrucción de trabajo”, en la que se explica los pasos a seguir para realizar la verificación, pero por si el operario necesita alguna ayuda extra o incluso la necesita alguien con conocimientos sobre el campo, se puede acceder a esta guía dividida en los siguientes tres campos: “O.F.”(todo lo necesario para saber cómo crear y cargar órdenes de fabricación), “FUNCIONAMIENTO”(en relación a qué pasos hay que seguir para realizar una verificación) y “ERRORES” (los errores más relevantes que pueden

surgir en la verificación y los correspondientes a los errores que puede dar la tarjeta SD).

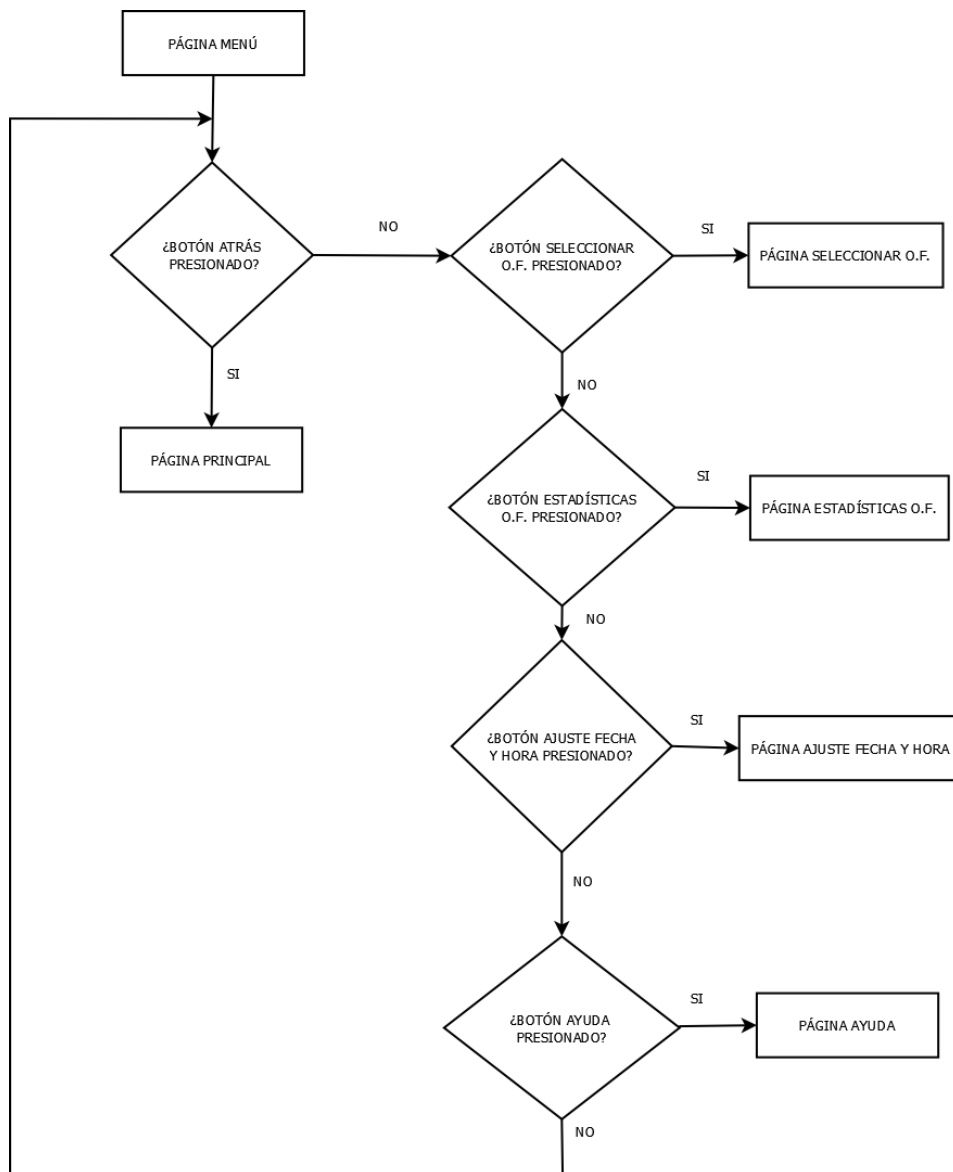


Ilustración 82, diagrama de flujo del menú de los verificadores

7. CONCLUSIONES

7.1 *Análisis*

Se concluye que los objetivos iniciales del proyecto de fin de grado han sido logrados, aunque siempre se puede mejorar el resultado. Se ha conseguido construir

los verificadores de la tarjeta de distribución y la tarjeta sensores con una detección de errores robusta, con una interfaz sencilla y un formato compacto y manejable.

7.2 Aspectos a mejorar del verificador

Si se hubiera dispuesto de más tiempo, se podría haber añadido un datalog mediante wifi para que se subieran los datos del verificador al servidor de la empresa y entonces ser accesibles para cualquier trabajador de la empresa.

Añadir un botón de encendido/apagado en las cajas de los verificadores, ya que si está enchufado con alimentación, siempre estará encendido el verificador.

Organizar mejor el datalog en carpetas por cada O.F. creado, ya que todos los archivos de la tarjeta SD vienen en la misma carpeta y es más incomodo para trabajar.

7.3 Experiencia

Ha sido una experiencia muy satisfactoria el realizamiento del trabajo fin de grado en la empresa, en el que he aplicado muchos conceptos aprendidos en la carrera aunque también he aprendido y adquirido experiencia.

8. Bibliografía y referencias

- Referencias sobre arduino: www.arduino.cc
- Multiplexores utilizados: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc04.pdf>
- Relés: [https://components.omron.com/components/web/pdflib.nsf/0/4FABD5A03E56DFDB85257201007DD584/\\$file/G5V-2_0911.pdf](https://components.omron.com/components/web/pdflib.nsf/0/4FABD5A03E56DFDB85257201007DD584/$file/G5V-2_0911.pdf)
- Módulo RTC: <http://www.tuelectronica.es/tutoriales/arduino/reloj-rtc-i2c-con-arduino.html>

9. Anexos

Se adjuntan en el proyecto los programas de arduino realizados, con sus respectivas librerías.

Los programas de arduino están compuestos por alrededor de 8200 líneas de código y completamente comentados.

En las librerías se adjuntan los pdf que explican la funcionalidad de cada comando.